



Ecole Nationale Supérieure  
d'Agronomie et des  
Industries Alimentaires



La Recherche Agronomique  
pour le développement



Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Centro Agronómico Tropical de  
Investigación y Enseñanza

# **EFFECTO DE LA DINÁMICA DE PRODUCCIÓN DE MAZORCAS DE CACAO Y LAS FUENTES DE INÓCULO EN EL DESARROLLO DE LA MONILIASIS (*Moniliophthora Roreri*) EN COSTA RICA**

Amandine Germon

Práctica formativa para obtener el diploma de Ingeniera Agrónoma

Tutor: Jacques Avelino

Julio 2012- Febrero 2013

## RESUMEN

La moniliasis, es una enfermedad con un grave impacto que puede superar el 80% de infección en algunos genotipos. La influencia del clima sobre el proceso epidémico fue, por el momento, poco estudiado en la zonas de producción. El objetivo de esta investigación es estudiar la influencia de los factores micro climáticos (precipitación, temperatura, mojadura, humedad relativa), el efecto de la dinámica de producción y la cantidad de inóculo local sobre el inicio, desarrollo e impacto de la moniliasis del cacao. La investigación se realizó en Costa Rica en la finca experimental “La Lola” perteneciente al CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza): 92 árboles fueron observados repartidos en 12 parcelas. Hemos estudiado las variedades CATIE R4, Pound 7 y CC137. Hay cuatro parcelas por clon. Estas variedades tienen niveles diferentes de resistencia a la moniliasis : CATIE R4 es resistente, Pound 7 un poco resistente y CC137 no. Cada semana, los frutos recientemente nacidos han sido marcados. Los datos relativos a la enfermedad fueron colectados todas la semanas después de la fecha del marcado y las variables micro climáticas fueron colectadas cada 15 minutos. En dos de las cuatro parcelas de cada clon, hemos embolsado las mazorcas ya que hemos visto una enfermedad, para eliminar o reducir, en caso de moniliasis, el inóculo y la dispersión de las esporas. Hemos realizado arboles de regresión, análisis de componentes principales y análisis graficas para una mejor comprensión de las relaciones entre la incidencia de la enfermedad y los factores climáticos y también identificar el comportamiento de esta enfermedad. El presente estudio muestra claramente una interacción fuerte entre los tres factores : bolsa, generación y clon. La mojadura y la humedad relativa parecen ser las dos variables del microclima que tienen una mayor influencia sobre la tasa de crecimiento de la enfermedad. Hay una extensión en el tiempo de la aparición de los síntomas de moniliasis y esta enfermedad parece ser mono cíclica. Este trabajo establece las bases de un modelo de advertencia agrícola para dar mejores consejos a los productores en la gestión del riesgo de la enfermedad. Este es un paso importante para entender mejor las relaciones cuantitativas entre la intensidad de la enfermedad y variables climáticas.

**Palabras claves:** *Theobroma cacao*, *Moniliophthora roreri*, microclima , curva de progreso del ataque de la enfermedad, árboles de regresión y análisis de componentes principales.

## RÉSUMÉ

La moniliose des cacaoyers est une maladie qui a énormément d'impacts, causant plus de 80% de pertes de récolte pour certains génotypes. L'influence du climat sur le processus épidémique n'a été, pour le moment, que peu étudiée dans les zones de production. L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence de facteurs microclimatiques (pluviosité, température, mouillure, humidité relative), l'effet de la dynamique de production et la quantité d'inoculum local sur l'infection, le développement et l'impact de la moniliose du cacao. Cette étude a été conduite au Costa Rica sur le terrain expérimental « La Lola » appartenant au CATIE (Centre Agronomique Tropical de recherche et d'enseignement) : 92 arbres ont été observés répartis sur 12 parcelles. Nous avons étudié les clones CATIE R4, Pound 7 et CC137. Il y a quatre parcelles par clones. Ces variétés ont des niveaux de résistances différents à la moniliose : CATIE R4 est résistant, Pound 7 est moyennement résistant et CC137 ne l'est pas du tout. Chaque semaine les cabosses récemment nées sont marquées. Les données concernant la maladie, ont été collectées toutes les semaines après la date de marquage et les variables climatiques ont été collectées toutes les 15 minutes. Dans deux des quatre parcelles de chaque clone, nous emballons les cabosses dès l'apparition d'une maladie afin d'éliminer ou de réduire, en cas de moniliose, l'inoculum primaire et la dispersion des spores. Des arbres de régressions, des analyses de composantes principales et des analyses graphiques ont été réalisés pour mieux comprendre les relations entre l'incidence de la maladie et les facteurs climatiques ainsi que le comportement de celle-ci. Cette étude montre clairement une forte interaction entre les trois facteurs : sac, génération et clone. La mouillure et l'humidité relative apparaissent comme les facteurs ayant une plus grande influence sur le taux de croissance de la maladie. Il y a un étalement dans le temps de l'apparition des symptômes de la moniliose et celle-ci est une maladie monocyclique. Ce travail jette les bases d'un modèle d'avertissement agricole afin de mieux conseiller les agriculteurs dans la gestion des risques épidémiques. Il s'agit d'une importante étape pour mieux comprendre les relations quantitatives entre l'intensité de la maladie et les variables climatiques.

**Mots-clés :** *Theobroma cacao*, *Moniliophthora roreri*, microclimat, courbes de progression de l'attaque de la maladie, arbres de régressions et analyses de composantes principales.

# CONTENIDO

RESUMEN	p.2
RÉSUMÉ	p.3
ÍNDICE DE CUADROS	p.5
ÍNDICE DE FIGURAS	p.5
I. INTRODUCCIÓN	p.7
II. MATERIALES Y MÉTODOS	p.8
A. CONDICIONES EXPERIMENTALES	p.8
B. ORGANIZACIÓN DE LAS REPETICIONES	p.8
C. TRATAMIENTO UTILIZADO	p.8
D. EVALUACIÓN DE FRUTOS DE CACAO A TRAVÉS DEL TIEMPO Y DESCRIPTORES	p.9
1. Marcaje de Frutos para cada generación	p.9
2. Observación de los síntomas y toma de datos en el campo	p.9
3. Variables descriptivas del estudio	p.10
4. Construcción de la base de datos	p.10
E. MEDICIÓN DE VARIABLES MICROCLIMÁTICAS	p.13
F. METODOS DE ANALISIS	p.16
III. RESULTADOS	p.17
A. PROGRESO DE LA ENFERMEDAD POR GENERACION	p.17
B. RELACIÓN ENTRE TASA DE CRECIMIENTO Y EL MICROCLIMA	p.27
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	p.33
A. DISCUSIÓN GLOBAL	p.33
B. NUEVAS ORIENTACIONES	p.35
BIBLIOGRAFÍA	p.36



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Descripción de los sensores	p.14
Cuadro 2: Descripción y Resumen de las variables estudiadas	p.16
Cuadro 3: Promedio del porcentaje máximo de ataque según los tratamientos	p.20
Cuadro 4: Cuadro conteniendo los p-valor que hemos obtenido	p.26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Síntomas/Signos externos de Moniliasis	p.10
Figura 2 y 3: Explicación del funcionamiento de la base de datos	p.12-13
Figura 4: Esquema de la ubicación de los sensores dentro de la parcela (CC 137, repetición4)	p.14
Figura 5: Estación Campbell junto a sensores de mojadura	p.15
Figura 6: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento Pound 7 con Bolsa	p.17
Figura 7: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento Pound 7 sin Bolsa	p.18
Figura 8: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento CC137 con Bolsa	p.18
Figura 9: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento CC137 sin Bolsa	p.19
Figura 10: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento CATIE R4 con Bolsa	p.19
Figura 11: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento CATIE R4 sin Bolsa	p.20
Figura 12: Evolución de las precipitaciones (mm) según las semanas de evaluación	p.21
Figura 13: Evolución de la frecuencia de mojadura según las semanas de evaluación	p.21
Figura 14: Evolución del porcentaje de ataque de moniliasis según la edad	p.22
Figura 15: Evolución del número de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento Pound 7 con Bolsa	p.23
Figura 16: Evolución del número de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento Pound 7 sin Bolsa	p.23

Figura 17: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento CC137 con Bolsa p.24

Figura 18: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento CC137 sin Bolsa p.24

Figura 19: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento CATIE R4 con Bolsa p.25

Figura 20: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento CATIE R4 sin Bolsa p.25

Figura 21: Evolución de las medias según las generaciones por cada tratamiento (clon- con o sin Bolsa) p.27

Figura 22: Grafico obtenido con la análisis de los componentes principales del tratamiento Pound 7 con Bolsa p.28

Figura 23: Grafico obtenido con la análisis de los componentes principales del tratamiento Pound 7 sin Bolsa p.29

Figura 24: Grafico obtenido con la análisis de los componentes principales del tratamiento CC137 con Bolsa p.29

Figura 25: Arbol de regression p.31-32

## I. INTRODUCCIÓN

El cacao es una cultura de gran importancia en el mundo, tanto en la industria alimentaria como en la cosmética, y de mucha importancia económica en diversos países tropicales como Costa de Marfil, Camerún, Ghana, Indonesia, Brasil, Colombia, Ecuador entre otros. La producción mundial de cacao era de 3,5 millones de toneladas en 2009, siendo Costa de Marfil el principal productor mundial con 1,4 millones de toneladas, en tanto que para América latina el mayor productor es Brasil con 163 000 toneladas. A inicios del siglo XX en América Tropical se producía más del 50% del cacao a nivel mundial seguido por el Caribe, África, Asia y Oceanía. Hoy en día, los países del continente Africano aportan el 69,6%, Asia y Oceanía 17% y por ultimo América latina 13,4% (522 000 toneladas) de la producción total de cacao a nivel mundial respectivamente. El cacao tiene una producción rentable y existe una demanda creciente de este producto. El precio promedio de tonelada de cacao es superior a 3100 dólares. (ICCO 2005 y 2009) En Costa Rica, la mayoría de la producción se ubica en la zona caribeña del país, con mas de 4500 hectáreas de cacao que pertenecen a indígenas de las etnias de Cabecar y Bribri, de acuerdo con datos de Ministerio de Agricultura y Ganadería (2010).

El nombre científico del cacao es *Theobroma cacao* L. Es un árbol perenne con un follaje denso y una altura alrededor de 5 metros. Sus frutos se llaman mazorcas y se cosechan dependiendo de las variedades en dos picos principales de producción. Su vida productiva es de 25 a 30 años. Pertenecce a la familia Malvaceae y se divide en 10 grupos genéticos: Purús, Nanay, Nacional, Marañón, Iquitos, Guiana, Curaray, Criollo, Contamana y Amelonado. (Motamayor et al 2008)

El auge que experimenta la actividad cacaotera en Latinoamérica está limitado por el grave impacto de las enfermedades y el bajo desempeño de muchas plantaciones debido a razones de manejo y a razones genéticas. En las últimas décadas, la producción del cacao se ha visto considerablemente afectada por enfermedades fungosas. En América latina las mas importantes son la escoba de bruja (*Crinipellis perniciosa*), la mazorca negra (*Phytophthora palmivora*) y la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y a pesar de no estar presentes simultáneamente en todos los países, causan daños muy serios en toda la región, reportándose pérdidas que bajo condiciones favorable superan un 50% durante todo el ciclo de producción (Evans 1998; Delgado et Al. 1993; Porras et al. 1990).

Dada la importancia del problema de las enfermedades en esta región, se han hecho múltiples esfuerzos para buscar soluciones para incrementar el nivel de vida de los productores, un suministro mas estable de cacao para los fabricantes de chocolate y una preservación de los ecosistemas. (Guiltinany Maximova 2002) El Programa de Mejoramiento Genético del CATIE (Centro Agronómico Tropical de investigación y enseñanza) ha desarrollado investigaciones con objetivo de identificar y/o generar genotipos superiores de cacao de alto rendimiento y resistencia a la principales enfermedades de la región. (CATIE 2004)

La moniliasis, es una de las enfermedades con un grave impacto en la región, la cual puede superar el 80% de infección en algunos genotipos. En los países donde se ha reportado, su avance arrasó muchas plantaciones. (Enríquez 2004) Es causada por el hongo *Moniliophthora roreri*. Se localizo por primera vez en Colombia y en pocos años se ha diseminado a los grandes productores como Venezuela, Perú y Ecuador, a todos los países de América central: Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Guatemala, Belice pero también desde 2005 a México. (Phillips-Mora et al 2006) La llegada de la

moniliasis a países como República Dominicana y Brasil o sobre todo a África tendrías efectos devastadores. (Phillips-Mora 2003)

La agresividad del patógeno y la rápida devastación de las fincas cacaoteras provocaron una inactividad del cultivo por casi 25 años, período en el cual la investigación en el tema fue casi nula (Phillips-Mora 2003). El uso de variedades mejoradas en combinación con prácticas agrícolas apropiadas, permitirían incrementar la producción y combatir las enfermedades de forma eficaz, duradera, económica y amigable con el medio ambiente.

El objetivo de esta investigación es estudiar la influencia de los factores microclimáticos, el efecto de la dinámica de producción (generación) y la cantidad de inoculo local (bolsa) sobre el inicio, desarrollo e impacto de la moniliasis del cacao.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. CONDICIONES EXPERIMENTALES

La investigación se realizó en Costa Rica en la finca experimental “La Lola” perteneciente al CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Está ubicada en el distrito Batán, cantón de Matina de la provincia de Limón (10,0633, -83,2797). La finca se encuentra en una zona con una pendiente inferior al 5% y una altitud media de 35snm. El clima predominante es de influencia caribeña: húmedo con una temporada seca poco marcada. Su precipitación promedio es de 3573 mm por año, con una marcada disminución de las lluvias en los meses de marzo y setiembre. La temperatura oscila entre los 34,2°C y los 19,2°C, posee una humedad relativa alrededor de un 94%, bastante nubosidad, con pocas horas de brillo solar, y un exceso en suelo de agua la mayor parte del año. Los meses más cálidos son mayo y junio, mientras que diciembre y enero son los más fríos. Según las zonas de vida de Holdridge, la zona pertenece al bosque tropical húmedo transición a muy húmedo. Estas condiciones son muy favorables para el desarrollo de la moniliasis, la cual puede superar el 80% de infección en algunos genotipos.

### B. ORGANIZACIÓN DE LAS REPETICIONES

El estudio se ha realizado en el área experimental “L6” del Programa de Mejoramiento Genético de Cacao del CATIE. Su área total es de 1,5 ha y fue sembrado entre julio de 1998 y 1999. Para este ensayo se seleccionaron unos 96 árboles (32 árboles de cada clon). Cada clon está sembrado en 4 parcelas del ensayo L6, cada una constituida por dos hileras de 4 árboles (8 árboles por parcela). La distancia de siembra es de 3 x 3 m.

### C. TRATAMIENTO UTILIZADO

Para este ensayo hemos seleccionado tres variedades de cacao del área experimental “L6” que presentan un comportamiento diferente. Los clones incluidos en el ensayo proceden de árboles individuales seleccionados en otros ensayos de campo por poseer alguna característica notable, principalmente resistencia a moniliasis. Estudiemos tres variedades: CATIE R4 resistente a la moniliasis, CC137 moderadamente resistente y Pound 7 no resistente. La variedad CATIE R4 registró el rendimiento más alto y la más baja incidencia de moniliasis durante todos los años de evaluación del programa de Mejoramiento Genético de Cacao del CATIE con una producción anual de 2000 Kg/ha/año

y una pérdida del 12% causada por la moniliasis. Durante varios años, el clon CC137 ha tenido pérdidas inferiores al 30%, pero en los últimos años se ha registrado un aumento considerable de la incidencia de moniliasis: con una producción anual de 1400 Kg/ha/año y una pérdida del 43%. El Pound 7 muestra una buena producción pero su potencial productivo ha descendido notablemente a causa de la enfermedad, llegando casi a cero. Pound 7 tiene una producción anual de 700 Kg/ha/año y una pérdida del 86% causada por la moniliasis.

En dos de las cuatros parcelas de cada clon, hemos embolsado las mazorcas afectadas por una enfermedad, así en el caso de moniliasis nos permitía eliminar o reducir el inoculo local y la dispersión de las esporas.

Cada semana se recorren todas las parcelas, árbol por árbol, marcando con etiquetas numeradas los frutos sanos de edades comprendidas entre 1 y 2 meses. Una semana de marcado corresponde a una generación de mazorcas. Para este estudio hemos utilizado 15 generaciones de mazorcas. Se dejaron de evaluar las mazorcas cuando todas las infectadas por *M. roleri* fueron removidas y las sanas fueron cosechadas, el resto se identificaron como pérdidas por otras enfermedades u otro factor. Se complementaron un total de 26 evaluaciones para la generación 1, 25 evaluaciones para la generación 2, 24 evaluaciones para la generación 3... Seguimos a evaluar las 15 primeras generaciones hasta que todas tengan 11 semanas de evaluación como mínimo.

#### D. EVALUACIÓN DE FRUTOS DE CACAO A TRAVÉS DEL TIEMPO Y DESCRIPTORES

##### 1. Marcaje de Frutos para cada generación

Para diferenciar las generaciones hemos utilizado etiquetas de diferentes colores. El total de frutos marcados son registrados en unas hojas (una hoja por repetición) donde hay una tabla para cada una de las 3 parcelas (una parcela por clon en cada repetición). En estas tablas apuntamos en cada línea el número de etiquetas que pusimos en ese árbol, cada línea corresponde a un árbol. Cada mazorca tiene, por tanto, un número, un color (una generación), un árbol, una parcela y una repetición asociados.

##### 2. Observación de los síntomas y toma de datos en el campo

A partir de la fecha de marcado se empezaron a evaluar las mazorcas cada semana. Empezamos a determinar si tienen síntomas externos de la moniliasis: giba, amarillamiento prematuro, puntos, mancha, esporulación o si ya eran momias, si tienen otras enfermedades como cherele, phytophthora... pero también si ya están removidos o cosechados.



*Figura 1: Síntomas/Signos externos de Moniliasis (M. Leandro)*

### 3. Variables descriptivas del estudio

Para analizar los datos hemos utilizados una serie de variables descriptivas:

- Número de ataque de moniliasis por semana
- Número de mazorcas esporuladas por semana
- Número de mazorcas removidas por semana
- Número de mazorcas que presentan síntomas de moniliosis a cada edad: se suman los efectivos de mazorcas con moniliasis a la misma edad de cada generación.
- Porcentaje acumulado de ataques de moniliasis por semana
- Porcentaje máximo de ataques de moniliasis de cada generación es el porcentaje acumulado final de ataques de moniliasis para cada generación.

Hemos utilizado también la tasa de crecimiento de la enfermedad. Se ha considerado que la moniliasis es una enfermedad mono cíclica, es decir, que hay una sola fase de infección y que es el inóculo inicial el que influye en la evolución de la enfermedad. Se ha

detectado que la mayoría de las generaciones afectadas presentan una evolución del porcentaje de ataque de moniliasis en forma de “J” inversa. Según estudios previos se cataloga la moniliasis como una enfermedad de interés simple. El periodo de latencia de moniliasis es de 2-3 meses y la sensibilidad de las mazorcas disminuye en el tiempo, lo que convierte en poco probable que exista más de un ciclo de infección por generación.

Así hemos calculado la tasa de crecimiento global de la enfermedad por cada generación.

Y la tasa de crecimientos entre 2 datos, una semana, utilizando esta formula:

$$\text{Tasa de crecimiento} = \ln(1/1 - X_2) - \ln(1/1 - X_1)$$

$X_1$  = numero de mazorcas enfermas de la semana 1/ numero de frutos total

$X_2$  = numero de mazorcas enfermas de la semana 2/ numero de frutos total

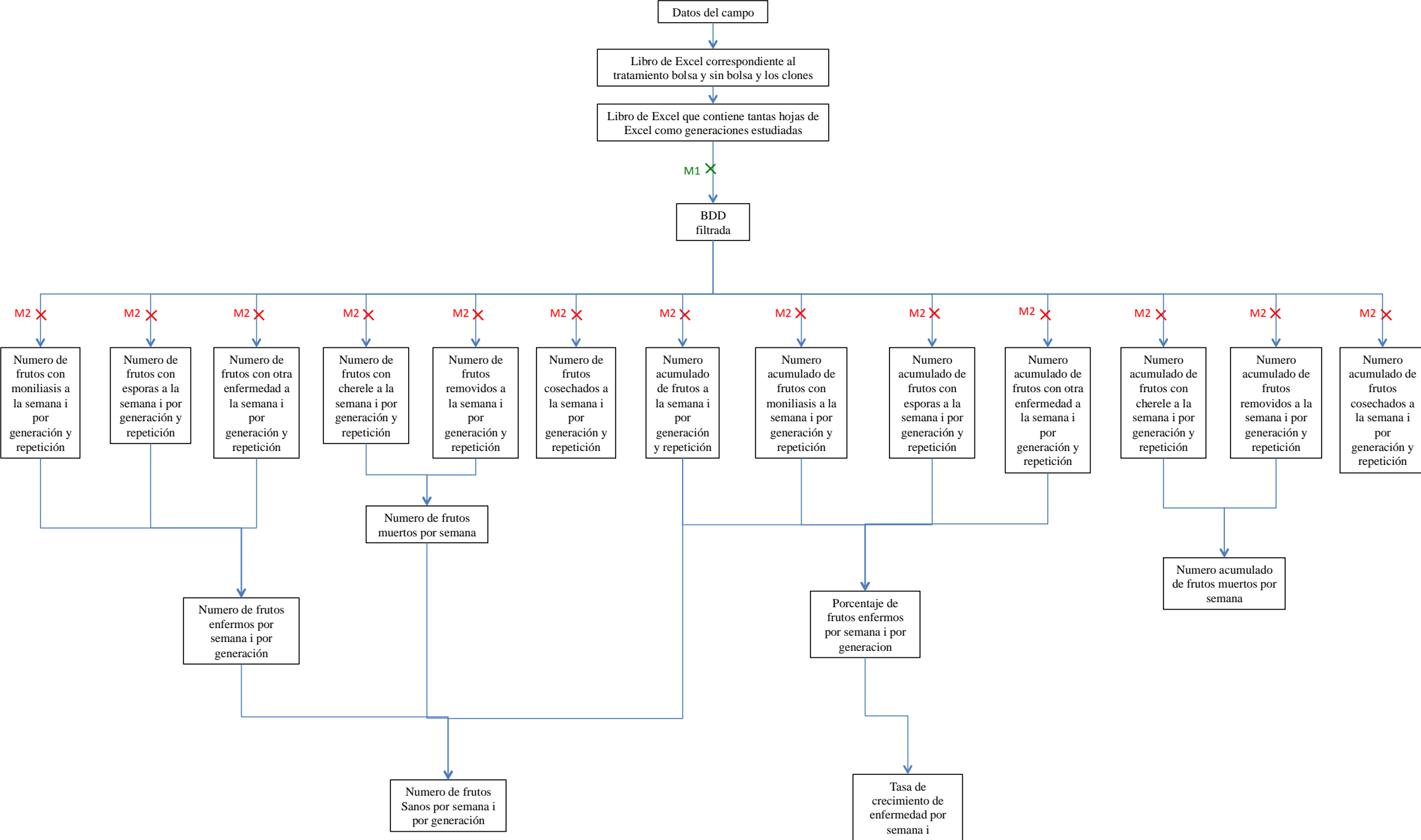
#### 4. Construcción de la base de datos

Se ha realizado una base de datos para calcular las variables explicadas en el apartado X. La base de datos se completado en Excel en seis libros. Hay un libro por tratamiento: clon-bolsa o clon-sin bolsa. Los datos de cada fruto estudiado-identificado por su número, su número de repetición y su número de árbol se han introducido por filas en hojas diferentes. Cada hoja corresponde a una generación.

En cada hoja se insertan en columnas la fecha de evaluación, la semana en que corresponde esta evaluación, la repetición, el árbol, el número de fruto. El “estado” de una mazorca está clasificado por columnas: moniliasis, esporas, cherele, otro (otras enfermedades), removido y cosechado. Cuando introducimos los datos llenamos las primeras columnas que son las características del fruto y después llenamos las otras. Para llenar las columnas del “estado” de la mazorcas se ha realizan los siguientes pasos: cuando vemos por ejemplo que la mazorca tiene monilia ponemos un “1” en la columna moniliasis y si no ponemos un “0” y así para cada columna. Cuando la mazorca tiene esporas quitamos el “1” de la columna monilia y ponemos “0” en esta, y agregamos un “1” en la columna esporas. Cuando una mazorca está cosechada o removida ponemos un “1” en la columna correspondiente y ponemos “0” si había una columna con un “1”. Cuando una mazorca tiene cherele, ponemos “1” en la columna cherele, y la semana siguiente ponemos “1” en la columna removido y “0” en la columna cherele porque cuando una mazorca tiene cherele no la evaluamos mas y consideramos que el fruto está muerto.

Las operaciones necesarias para realizar el análisis estadístico (los porcentajes de ataque, la tasa de crecimiento, el total de mazorcas enfermas) se calculan empleando “macro” en Visual Basic.

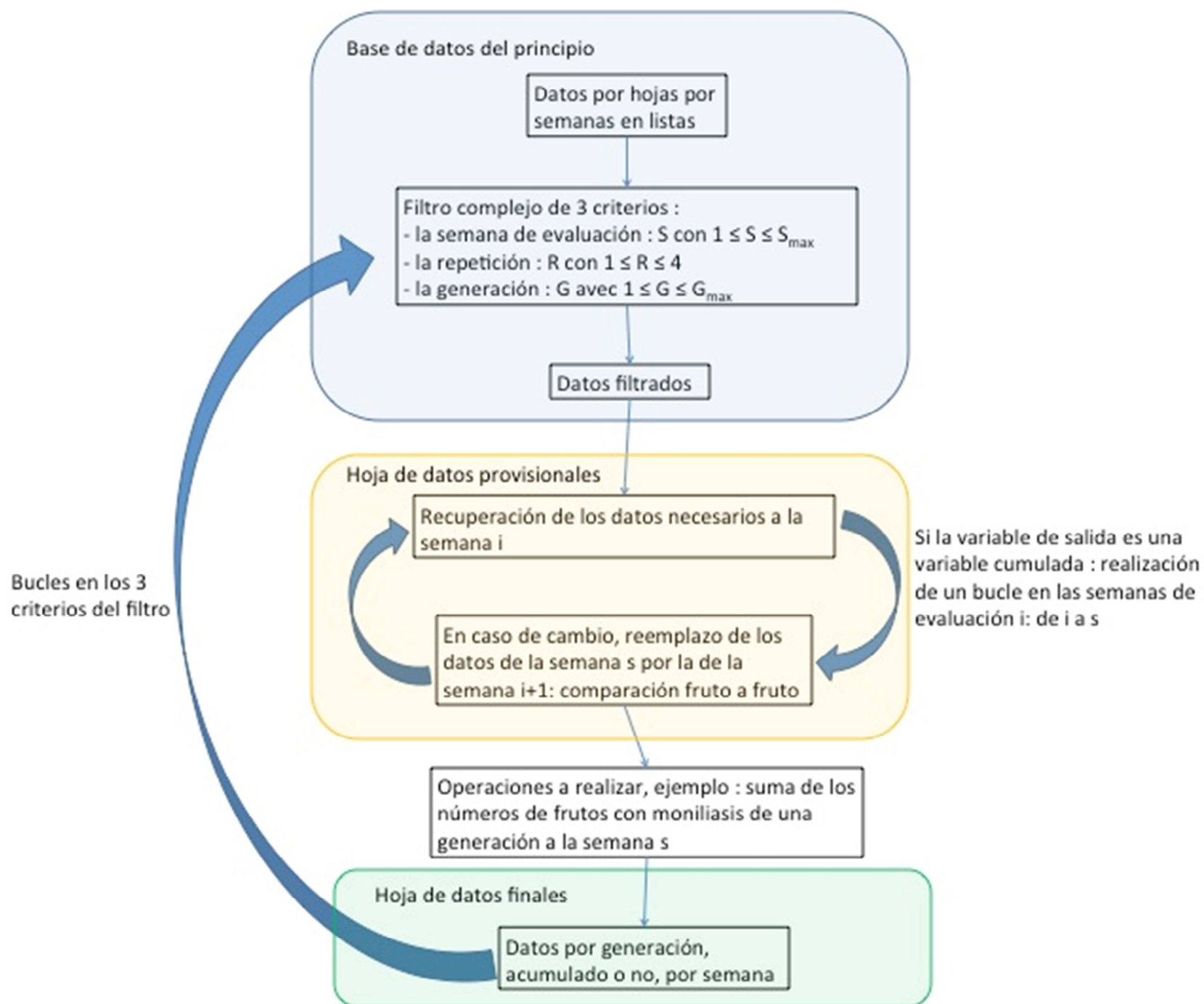
En las figuras 2 y 3 que siguen se observa el funcionamiento de la base de datos y de las macros:



M1 X Macro de filtro simple : Eliminación de las generaciones cambiadas

M2 X Macro de filtro complejo





## E. MEDICIÓN DE VARIABLES MICROCLIMÁTICAS

En la repetición 4, en la parcela CC137, hemos instalado una estación micro climática Campbell. En esta estación se instalaron 3 sensores de temperatura, 4 sensores de mojadura y dos de humedad relativa. Se colocó la estación en el centro de los 8 árboles de esta parcela, los sensores fueron montados sobre estacas de bambú y se colocaron como indican el cuadro 1 y las figuras 4 y 5:

Posición	Tipo de sensor	Código	Altura a la que se instaló (m)
1	Temperatura y Humedad Relativa	9835243	1.5
2	Temperatura y Humedad Relativa	9835244	1.5
3	Temperatura	1228065	2
5	Temperatura	1228066	2
6	Temperatura	1228029	1
7	Mojadura	1217677	1.25
8	Mojadura	1217680	1.25
9	Mojadura	1217679	1.25
10	Mojadura	1217682	1.25

*Cuadro 1: Descripción de los sensores*



*Figura 4: Esquema de la ubicación de los sensores dentro de la parcela*

*(CC 137, repetición 4) (M. Leandro)*



*Figura 5: Estacion Campbell junto a sensores de mojadura*

Esta estación fue programada para realizar lecturas de las distintas variables microclimáticas cada 30 segundos, y registrar un promedio de esas mediciones cada 15 minutos durante todo el día, por todos los días del ensayo. Las informaciones recopiladas por la estación se descargaron a una computadora y nos permitió calcular las diferentes variables microclimáticas necesarias. Hemos utilizado el programa Hoboware para descargar los datos en la computadora.

Hicimos todos nuestros análisis comparando diferentes variables por semanas. Así que por las variables microclimáticas hemos calculado medias de temperatura, humedad relativa, nivel de mojadura durante una semana: siempre es del lunes a las 12 am al lunes de la semana siguiente a las 12 am. Calculamos también la frecuencia de mojadura por semana que corresponde a la media de la frecuencia de mojadura de los captores. Cuando un captor marca un valor superior a 15 está mojado y corresponde a 25 % de los captores mojados. Así cuando todos los captores marcan un valor superior a 15 el 100% de los captores se consideran mojados. Utilizamos también las temperaturas máximas y mínimas y la amplitud de temperatura, siempre en una semana. De igual forma en la finca La Lola hay un registro de las precipitaciones.

Para nuestros análisis utilizamos los datos microclimáticos de las 6 semanas anteriores a la semana de la aparición de los síntomas de la enfermedad. No se han analizado variables microclimáticas más antiguas porque las mazorcas solo pueden ser infectadas durante estas seis semanas ya que son más sensibles cuando son pequeñas y porque antes de ese tiempo no habían nacido.

Grupo	Abreviaturas	Significación
Microclima	Pluv s-i	Precipitaciones a la semana i ( $0 \leq i \leq 6$ )
	Mouillure s-i	Mojadura a la semana i ( $0 \leq i \leq 6$ )
	T Min s-i	Temperatura mínima a la semana i ( $0 \leq i \leq 6$ )
	T Max s-i	Temperatura máxima a la semana i ( $0 \leq i \leq 6$ )
	T Amp s-i	Rango de la temperatura a la semana i ( $0 \leq i \leq 6$ )
	HR s-i	Humedad relativa a la semana i ( $0 \leq i \leq 6$ )
Características de los frutos	Gi Generación	Generación i de mazorcas ( $1 \leq i \leq 15$ )
	Clon	Clon : CATIE R4, CC137, Pound 7
	Bolsa	0 = frutos sin bolsa, 1=frutos embolsado
	Edad	Numero de semanas de vida de los frutos después del marcado
	Semana	Numero de la semana de evaluación
	TxC Mono	Tasa de crecimiento de moniliasis en una semana
	Num Cabosses	Numero de mazorcas de la generación por tratamiento (clon-bolsa)
	Num E lado M-i	Numero de mazorcas esporuladas al lado de las parcelas al mes i ( $0 \leq i \leq 1$ )
Variables descriptivas del estudio	Num Mon	Numero de mazorcas con moniliasis
	Num Esp	Numero de mazorcas con esporas
	Num Otro	Numero de mazorcas con otra enfermedad
	Num C	Numero de mazorcas con cherele
	Num Rem	Numero de mazorcas removidas (mazorcas removidas con esporas y cherele)
	Num Cos	Numero de mazorcas cosechadas (sanas)
	T-Cos-Rem-C	Total de mazorcas menos las cosechadas, removidas y con cherele = numero de mazorcas sanas, con monilia, con esporas y con otras enfermedades
	Num Sanas	Numero de mazorcas sanas
	%MonAc	% acumulado de ataque de moniliasis
	% Mon	% de nuevas mazorcas con síntomas de moniliasis por semana

*Cuadro 2: Descripción y Resumen de las variables estudiadas*

## F. METODOS DE ANALISIS

Para nuestro análisis hemos utilizado varios métodos:

- Representaciones gráficas para observar la evolución de la enfermedad, el porcentaje y el número de mazorcas enfermas en cada generación y con el tiempo.
- Análisis del modelo general para ver la influencia de cada factor (clon, generación, bolsa) y las interacciones presentes entre los tres factores.
- Análisis de componentes principales a fin de mostrar las correlaciones entre el microclima y la tasa de crecimiento de la enfermedad.
- Árbol de regresión para explicar o predecir los valores que toma una variable cuantitativa como la tasa de crecimiento de la enfermedad según variables cuantitativas y cualitativas como el microclima o los tratamientos.

### III. RESULTADOS

#### A. PROGRESO DE LA ENFERMEDAD POR GENERACION

En las figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11 se aprecia las curvas de enfermedad de cada una de las 15 generaciones para los diferentes clones y tratamiento (bolsa y sin bolsa):

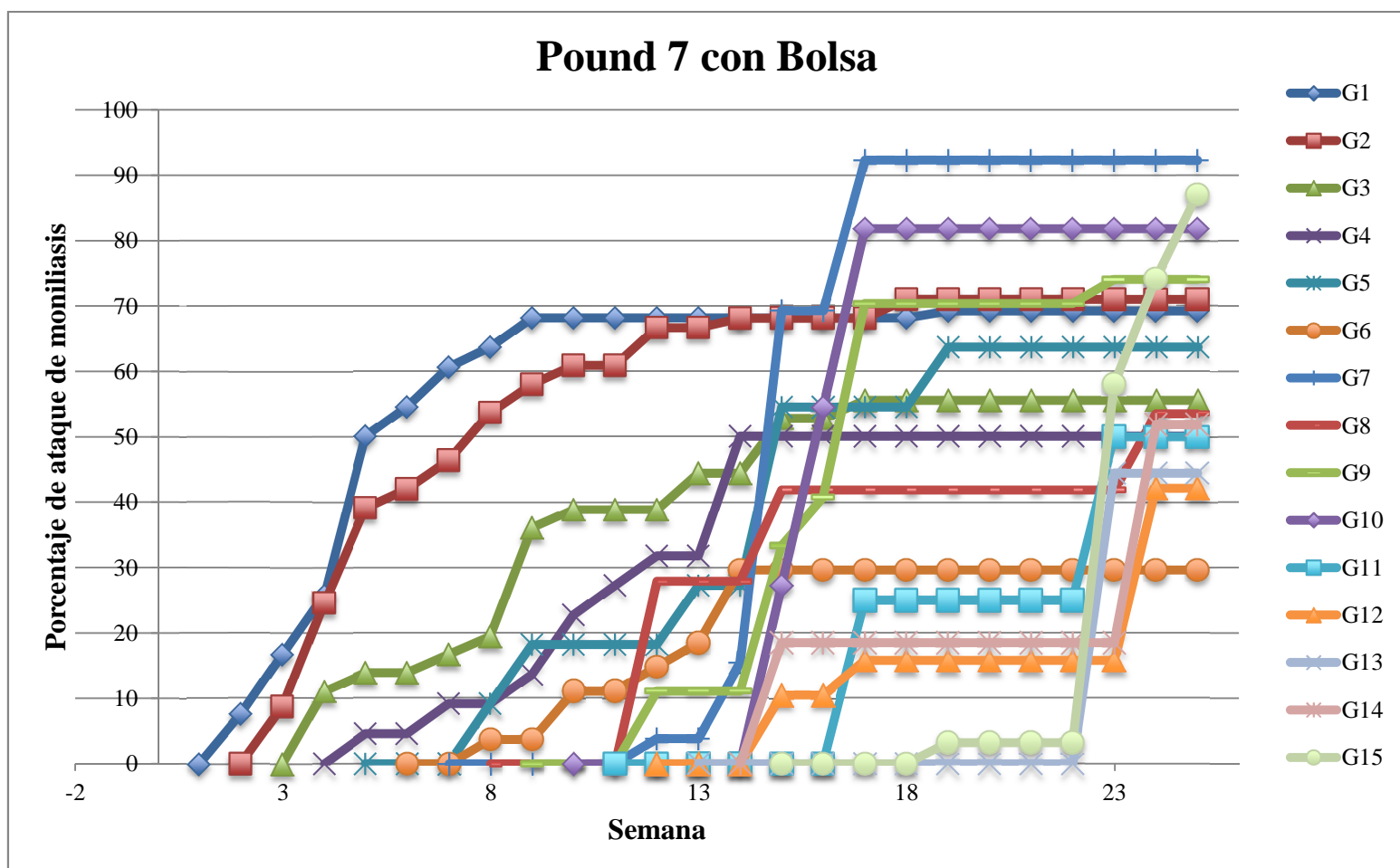


Figura 6: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento

Pound 7 con Bolsa



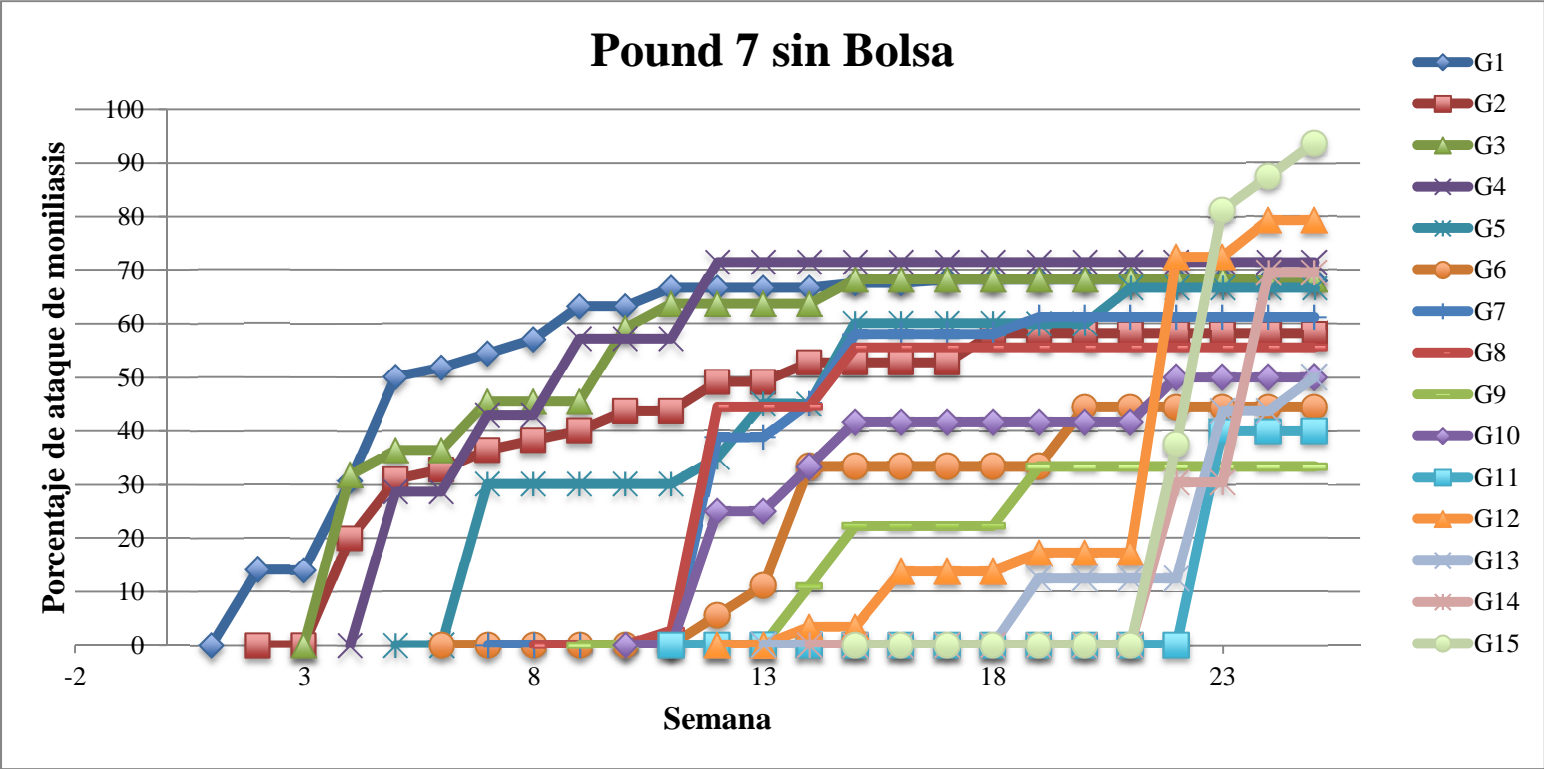


Figura 7: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento  
Pound 7 sin Bolsa

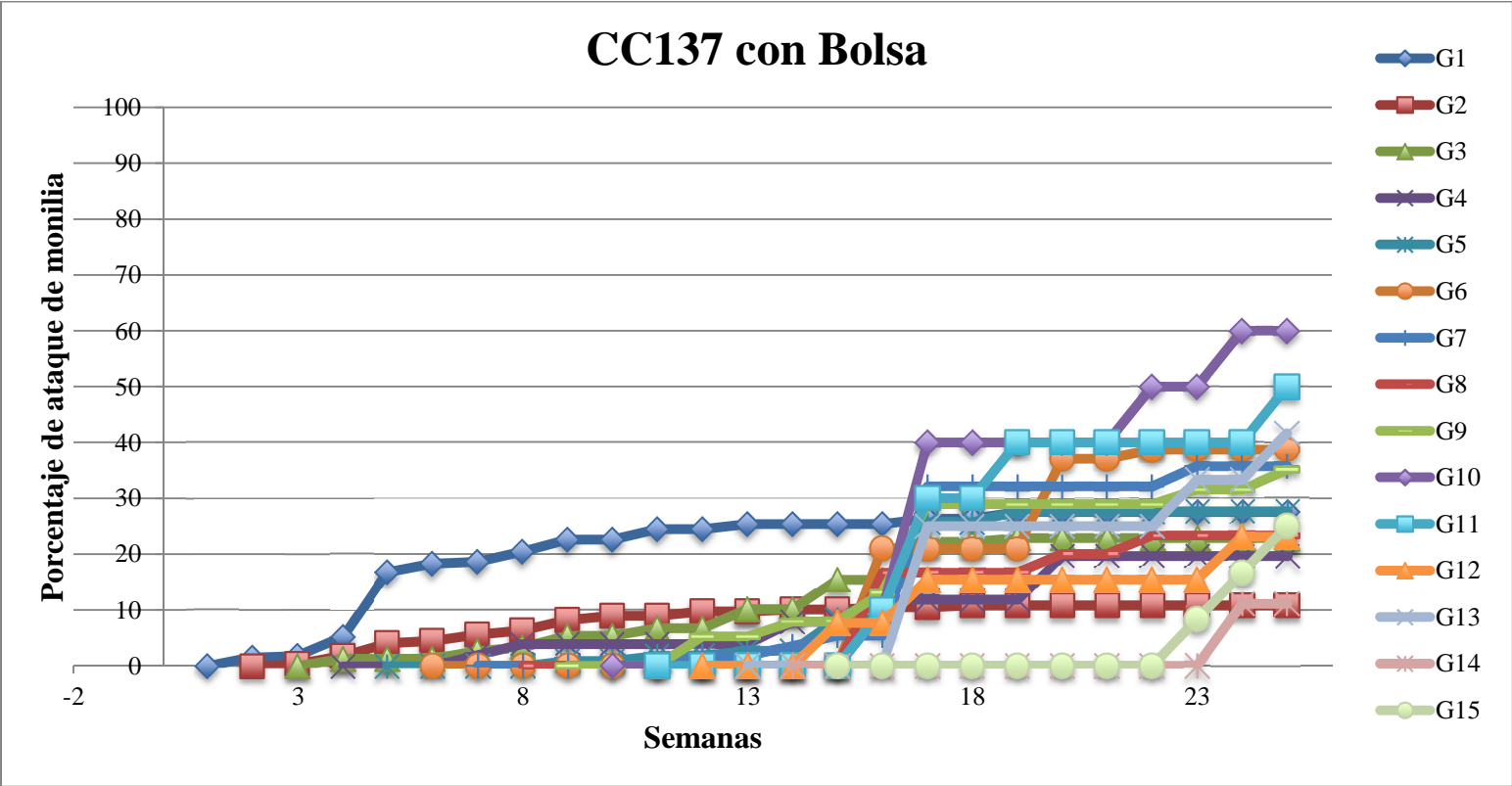


Figura 8: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento  
CC137 con Bolsa

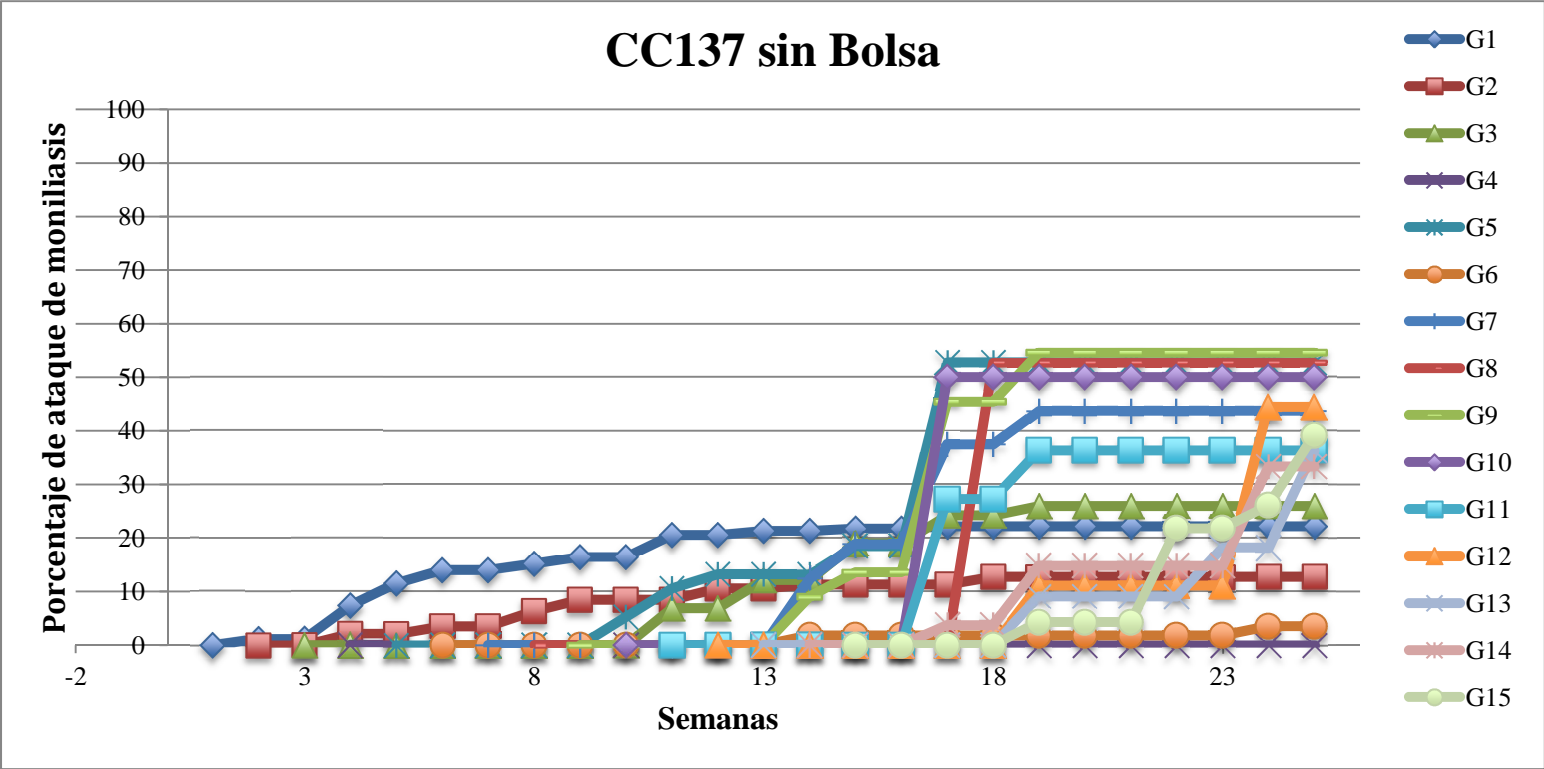


Figura 9: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento  
CC137 sin Bolsa

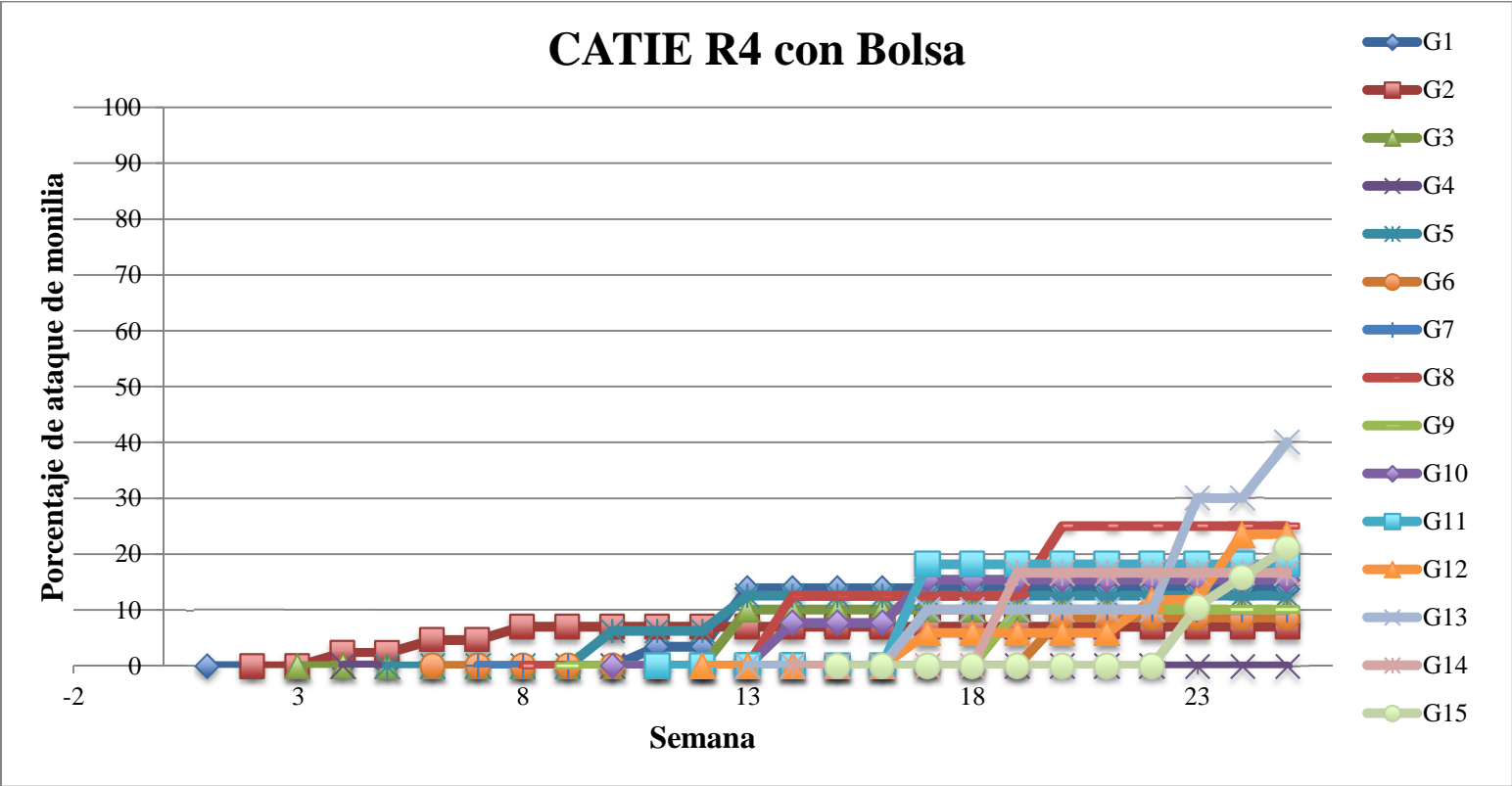
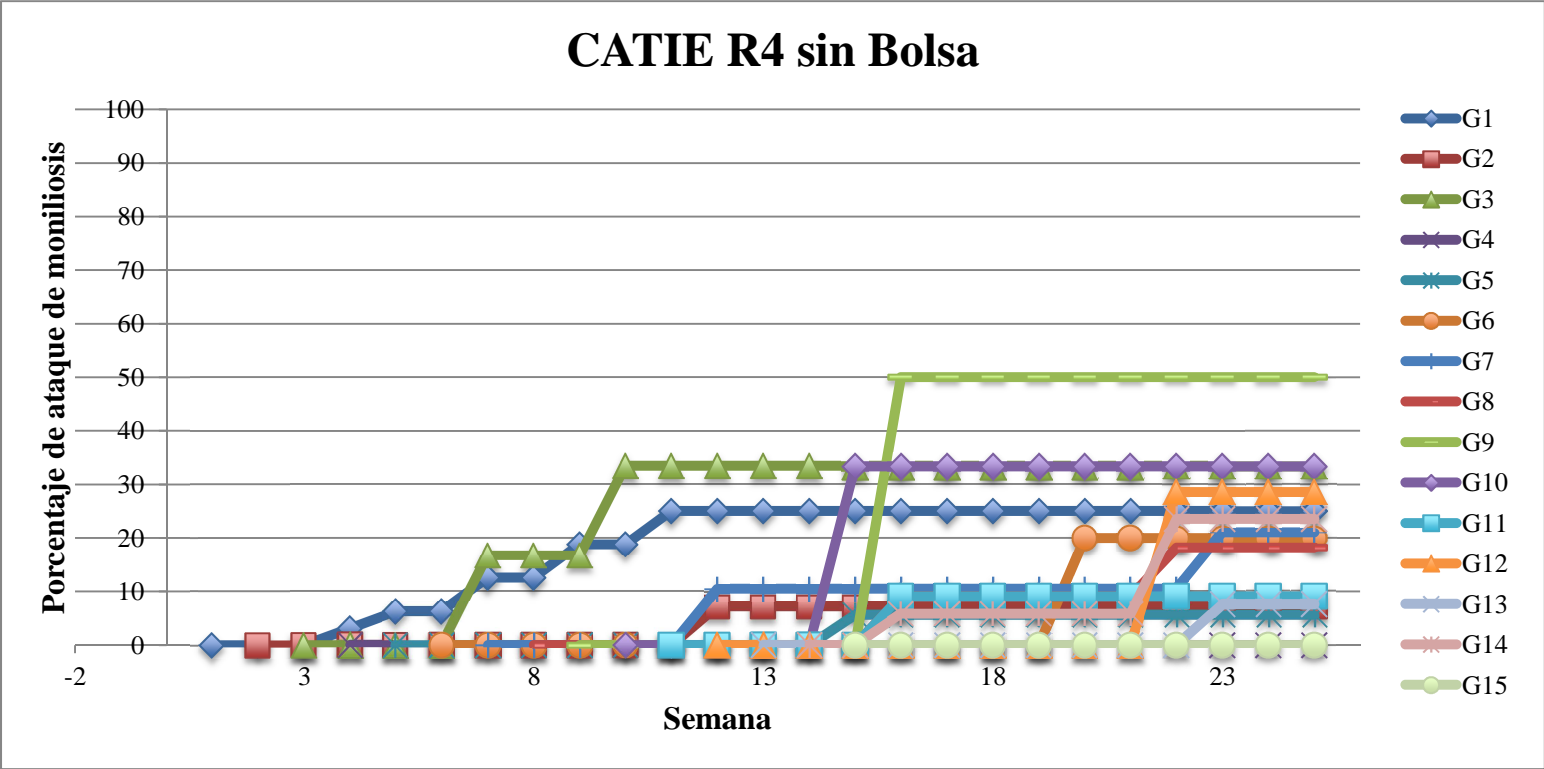


Figura 10: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento  
CATIE R4 con Bolsa



*Figura 11: Evolución del porcentaje de ataque de Moniliasis por semana del tratamiento*

*CATIE R4 sin Bolsa*

Con esas figuras se evidencia la diferencia de resistencia a la moniliasis de los diferentes clones. Podemos ver que para la mayoría de las generaciones de Pound 7 el ataque de moniliasis alcanza más de un 60% de las mazorcas llegando hasta el 92% para algunas generaciones. Mientras que en las de CC137 el porcentaje de ataque de moniliasis es siempre inferior al 60 % y CATIE R4 raramente superior al 20%.

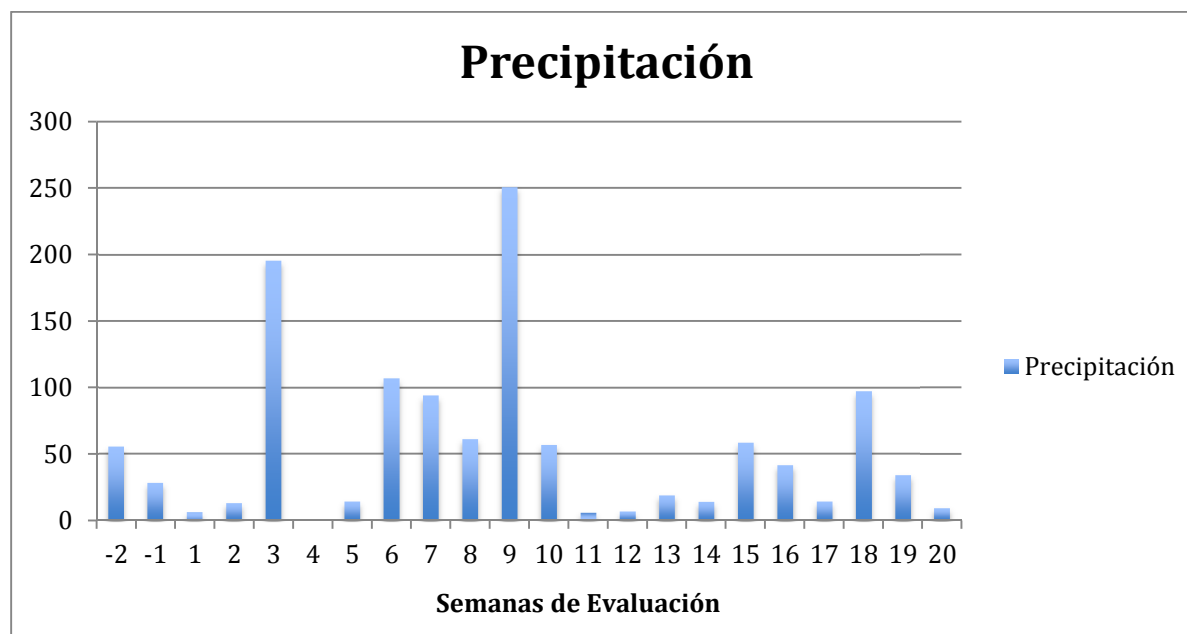
Clon/Tratamiento	Promedio del% ataque Máximo
CATIE R4 – Sin Bolsa	18,83223908
CATIE R4 – Con Bolsa	15,45204289
CC137 – Sin Bolsa	33,82898661
CC137 – Con Bolsa	30,12775979
Pound 7 – Sin Bolsa	60,6566457
Pound 7 – Con Bolsa	61,08356432

*Cuadro 3: Promedio del porcentaje máximo de ataque según los tratamientos*

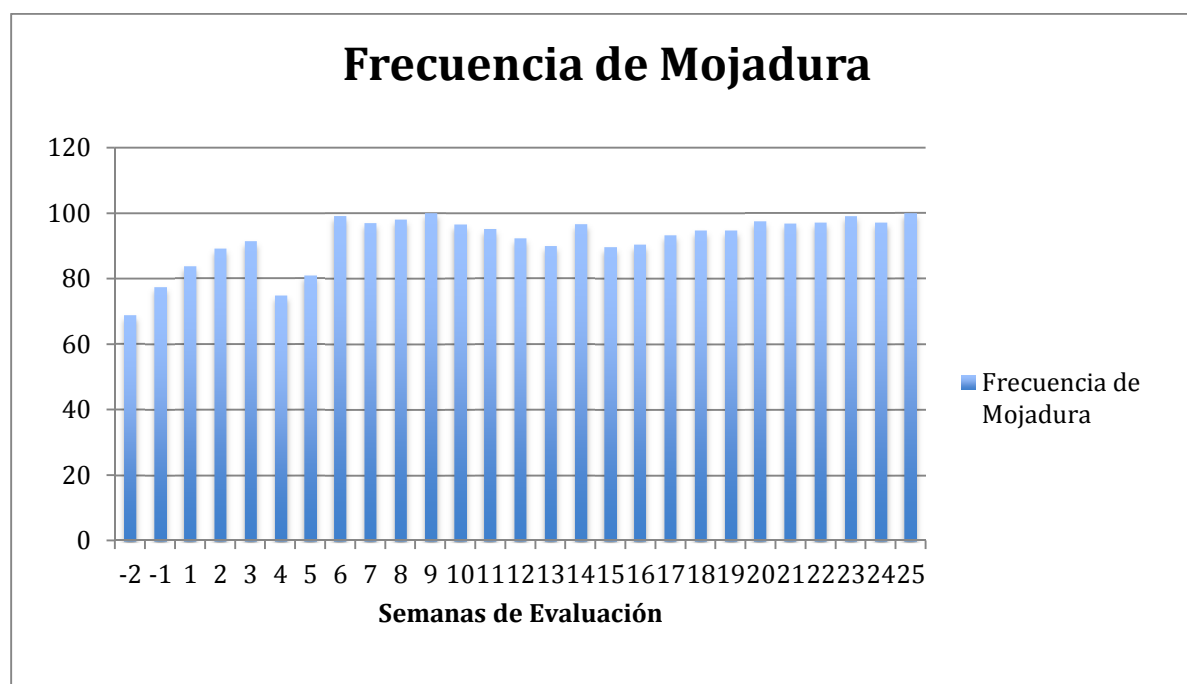
Según este cuadro, se aclara la diferencia de resistencia de los clones: CATIE R4 resistente, CC137 moderadamente resistente y Pound 7 resistencia casi nula. Se observa también que hay muy poca diferencia entre las parcelas con bolsa y sin bolsa. Únicamente para los clones CATIE R4 y CC137 (los más resistentes) la diferencia entre los promedios del porcentaje máximo de ataque de moniliasis es del 3%, siendo superior en las parcelas sin bolsa respecto a las con bolsa.



Podemos observar que en la mayoría de las generaciones las curvas de enfermedad presentan una forma de “J” inversa, confirmando que la moniliasis es una enfermedad monocíclica. Se puede ver que algunas generaciones tienen comportamientos simultáneos aunque otras presentan una evolución del ataque de moniliasis con semanas sin aparición de síntomas y de repente una pendiente alta. De igual manera, en generaciones como la 15 por ejemplo, los primeros síntomas aparecieron pese a que las mazorcas tenían más de 5 semanas de marcado para todos los clones y los tratamientos. Las generaciones 1 y 2 muestran un porcentaje de ataque de moniliasis progresivo, los síntomas aparecieron poco a poco aunque para las generaciones 10 y 15 el porcentaje de ataque subió rápidamente en dos semanas de evaluación.



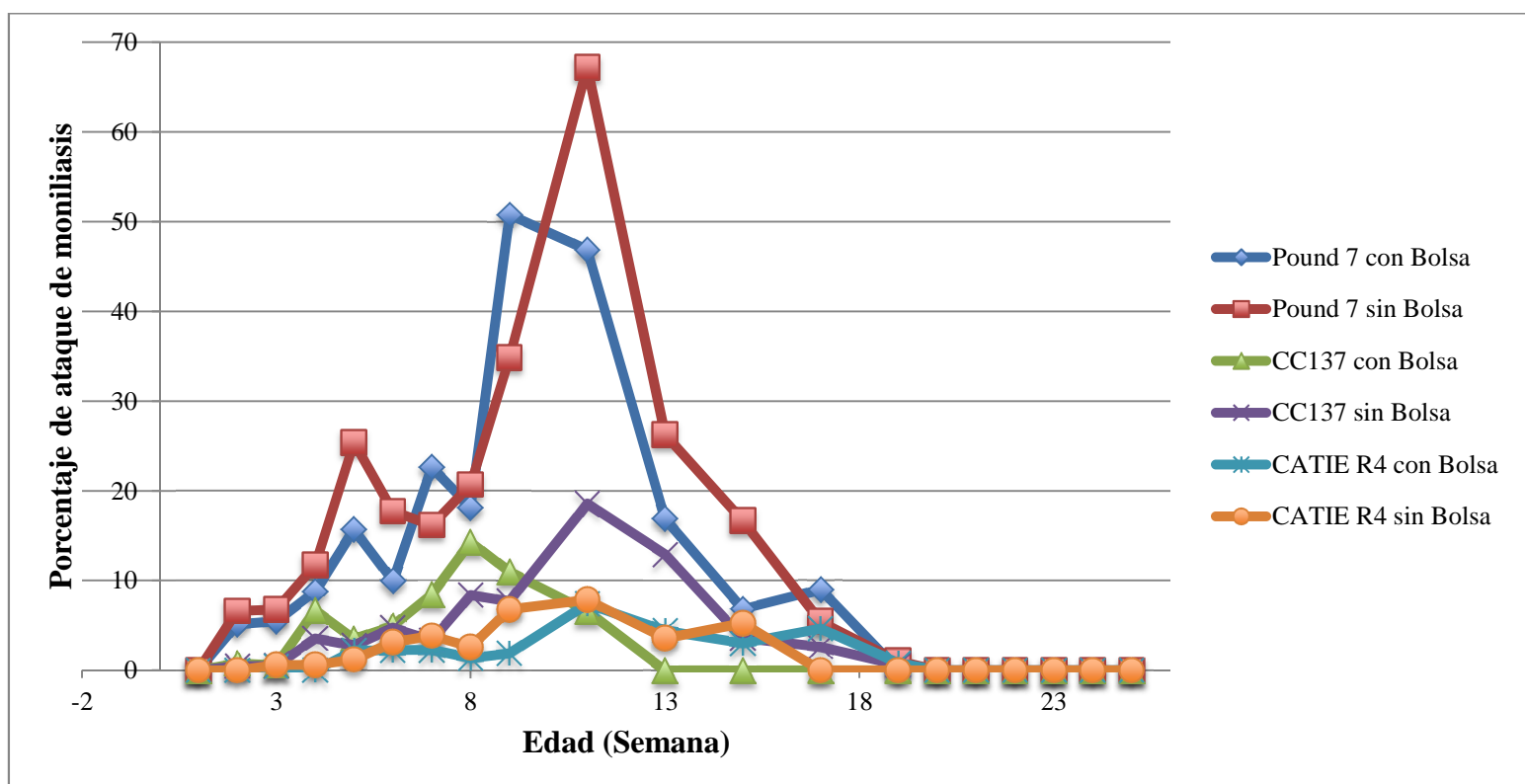
*Figura 12: Evolución de las precipitaciones (mm) según las semanas de evaluación*



*Figura 13: Evolución de la frecuencia de mojadura según las semanas de evaluación*

Con la curva de mojadura podemos pensar que hay una estrecha relación entre las condiciones climáticas y la aparición de los síntomas de moniliasis. Nos parece que las variaciones de la mojadura influiría sobre la cantidad de mazorcas enfermas y la aparición de los síntomas, pero también que si las precipitaciones son importantes las mazorcas son más sensibles a la moniliasis independientemente de sus edades. Por lo tanto, no serían las condiciones climáticas presentes cuando nacieron las mazorcas las que determinarían la cantidad de mazorcas enfermas pero sí el clima hasta 6 semanas antes de la aparición de los síntomas.

En la figura 14 se aprecian las curvas del porcentaje de aparición de los síntomas de moniliasis según la edad de las mazorcas para todos los clones y los tratamientos (bolsa, sin bolsa):



*Figura 14: Evolución del porcentaje de ataque de moniliasis según la edad de las mazorcas para los 6 tratamientos diferentes*

Podemos observar en estas curvas que el porcentaje de aparición de síntomas de moniliasis es máximo entre las semanas 9 y 11 de evaluación para todos los clones y tratamientos. En el caso de Pound 7 sin Bolsa, el 70 % de las mazorcas que están sanas en la semana 9 presentan síntomas de moniliasis en la semana 11. De hecho, el porcentaje de mazorcas enfermas aumenta progresivamente en relación con la edad de las mazorcas hasta que tengan más o menos 3 meses y después disminuye rápidamente.

En las figuras 15, 16, 17, 18, 19 y 20 se aprecian las curvas de la evolución del número de mazorcas con moniliasis, mazorcas con esporas, mazorcas sanas, mazorcas removidas y mazorcas con cherele por semana de cada clon y tratamiento:

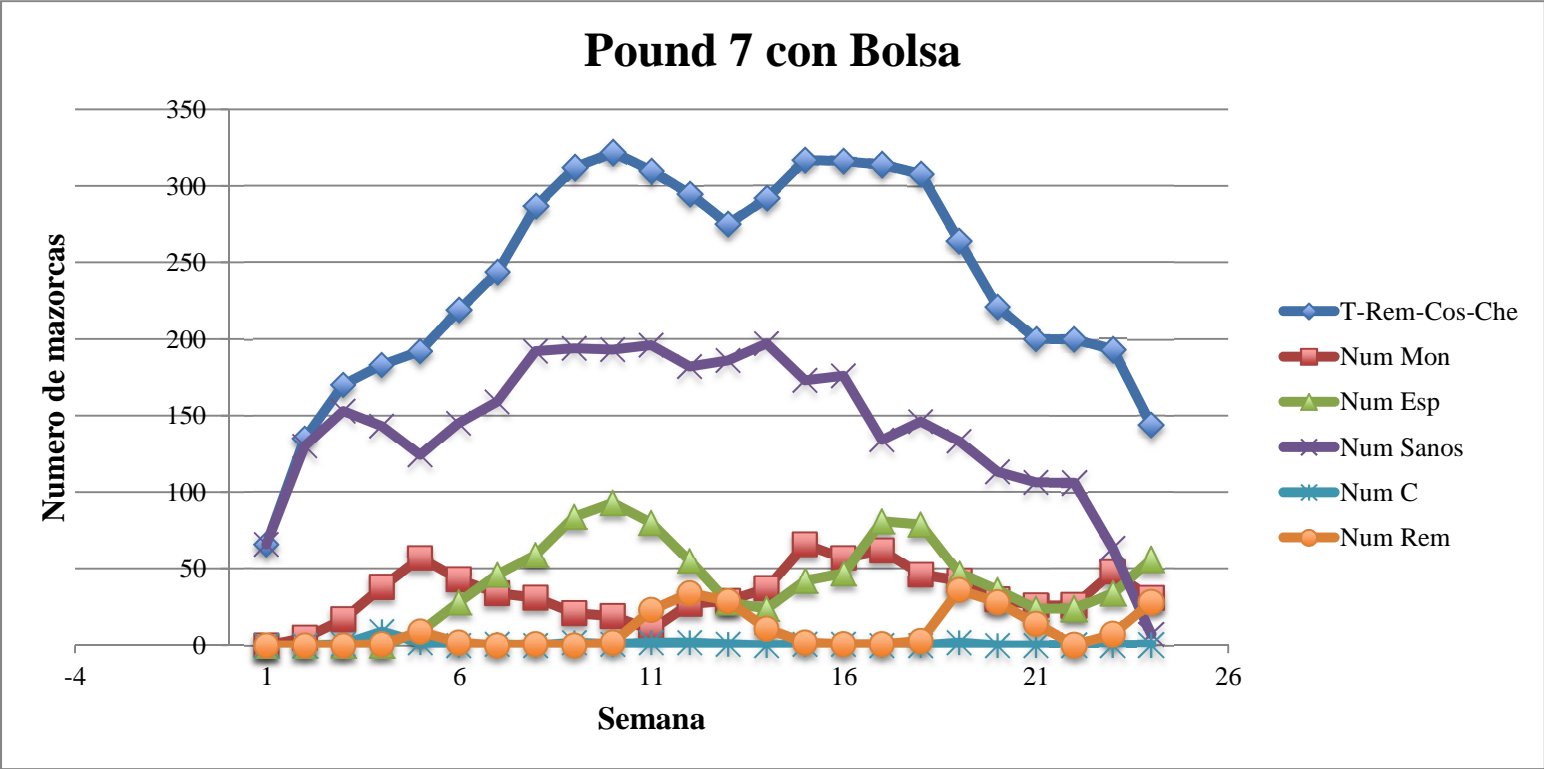


Figura 15: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento Pound 7 con Bolsa

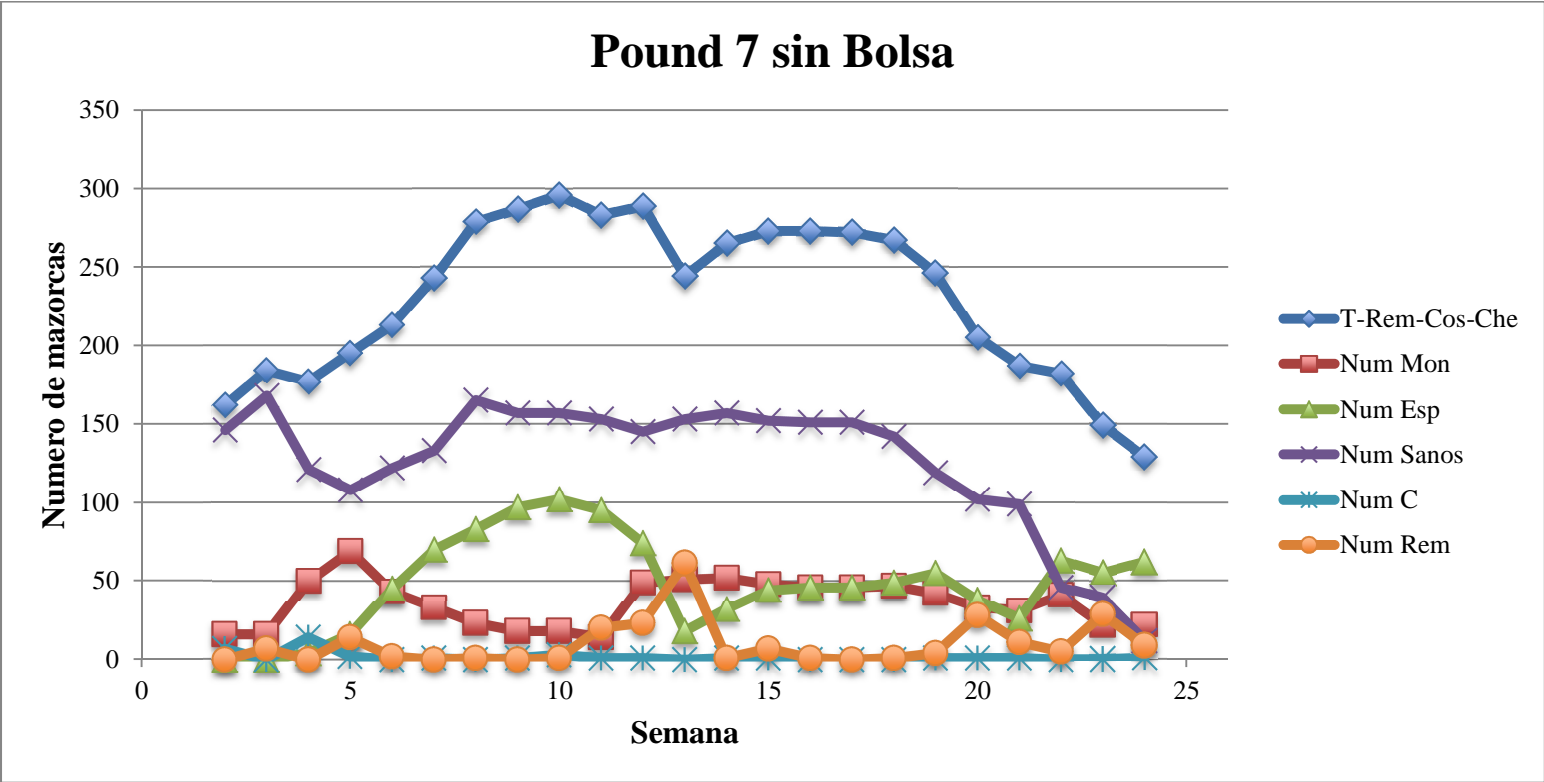


Figura 16: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento Pound 7 sin Bolsa

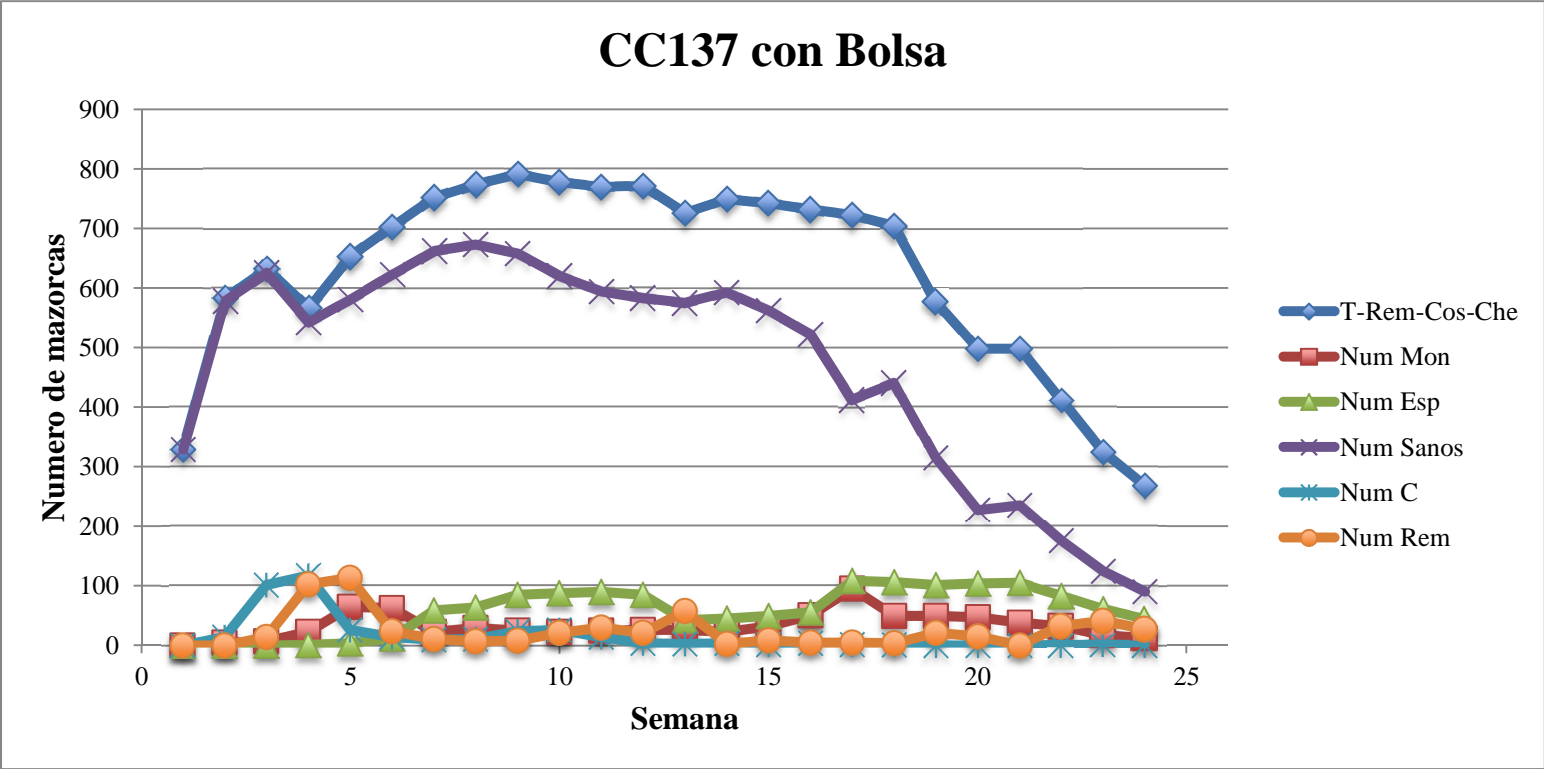


Figura 17: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento CC137 con Bolsa

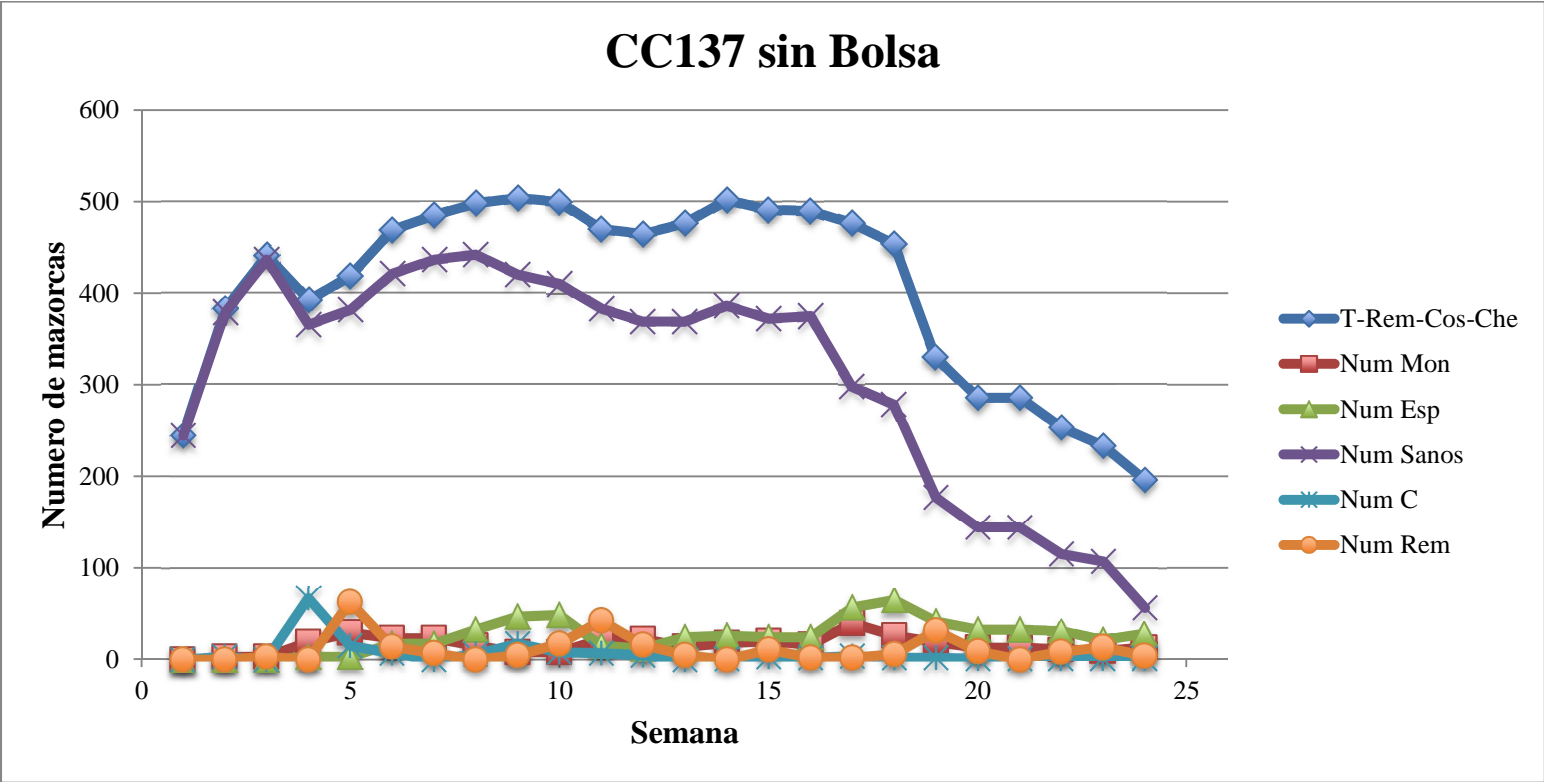


Figura 18: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento CC137 sin Bolsa

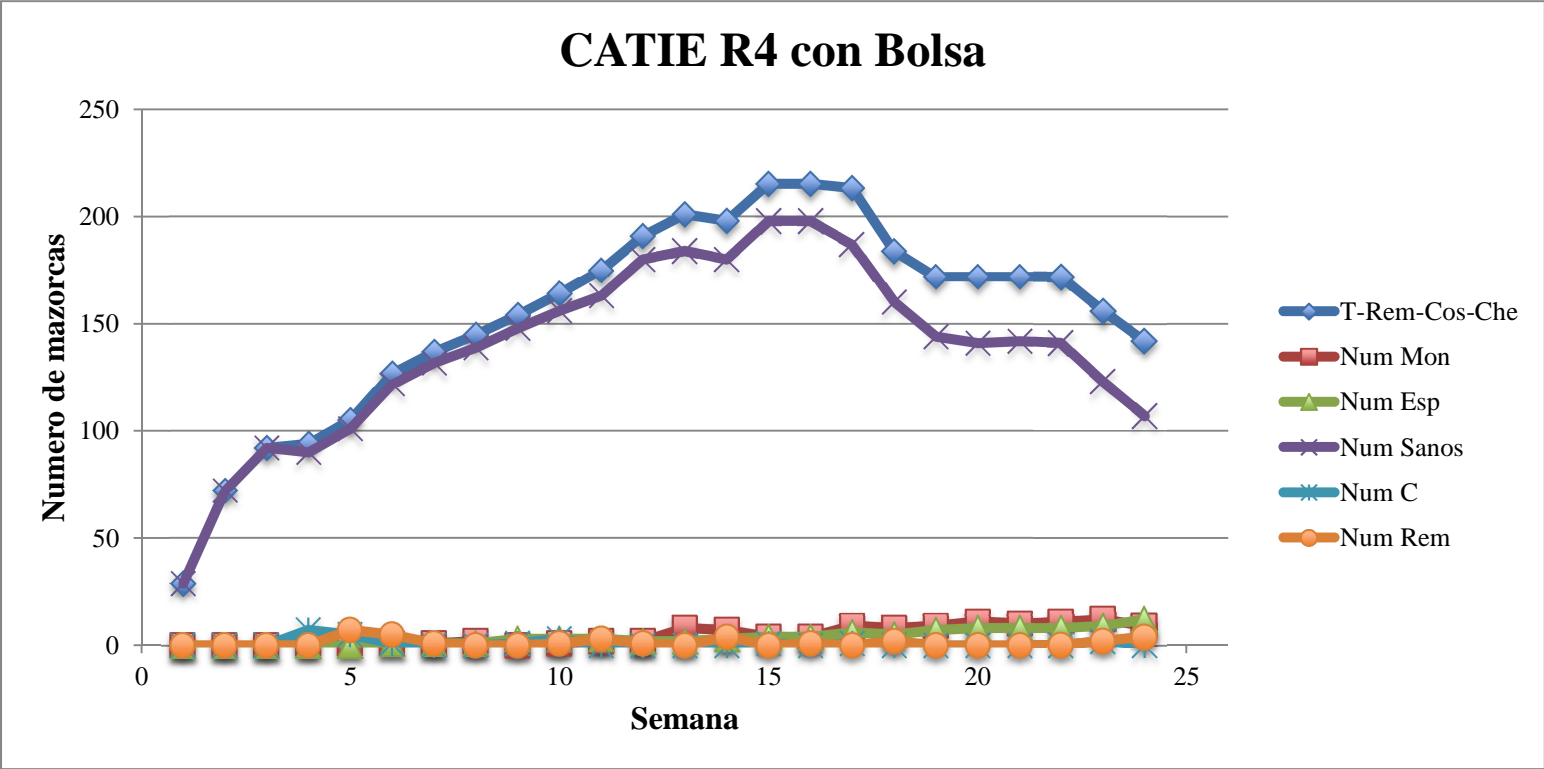


Figura 19: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento CATIE R4 con Bolsa

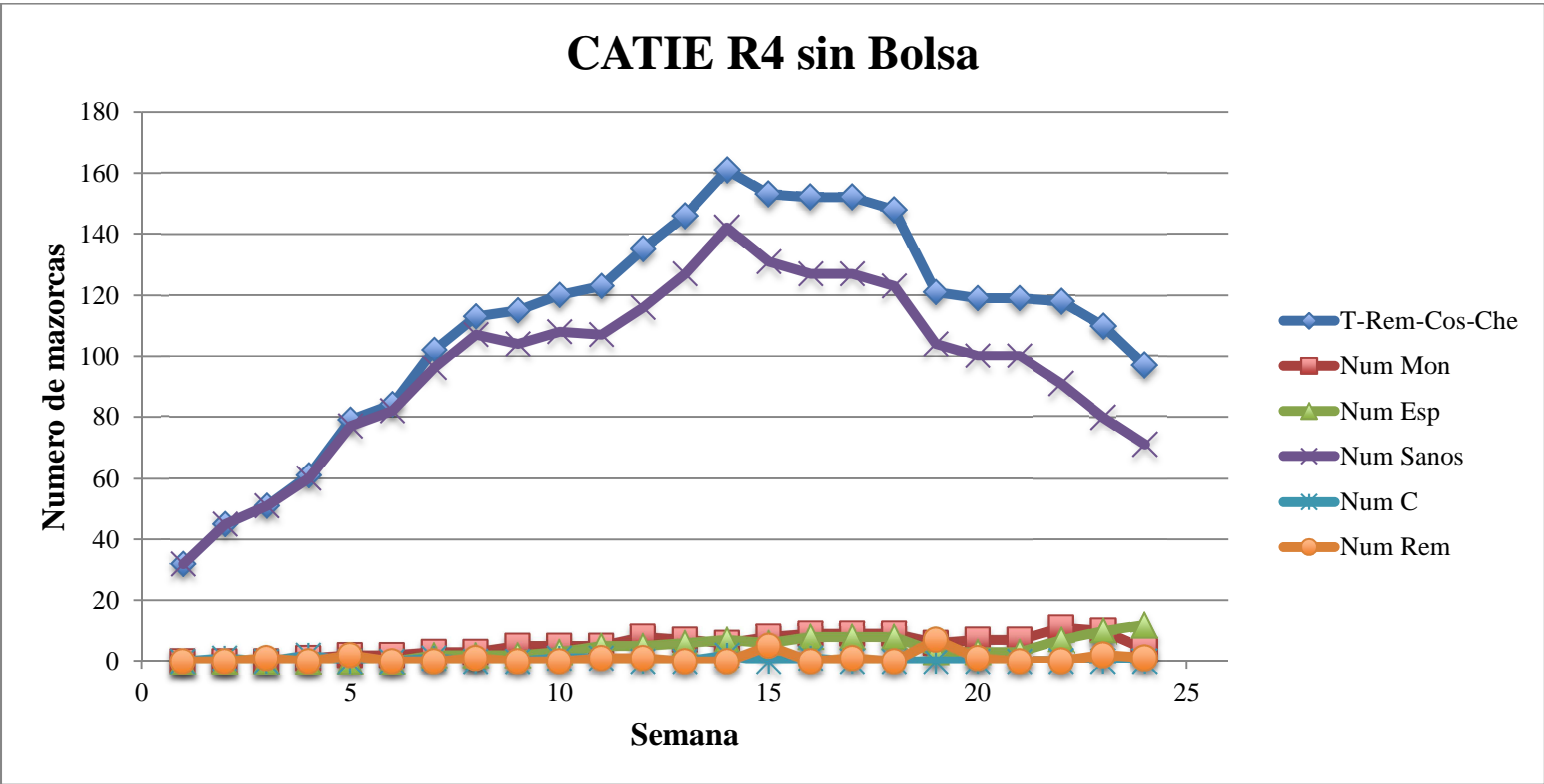


Figura 20: Evolución del numero de mazorcas con moniliasis, esporas, sanas, removidas y cosechadas según las semanas de evaluación para el tratamiento CATIE R4 sin Bolsa

En estas figuras se demuestra de nuevo que el número de mazorcas enfermas es superior para el clon Pound 7 que los clones CATIE R4 y CC137. Observamos también que el número de mazorcas del clon CC137 es claramente superior al número de mazorcas de los clones Pound 7 y CATIE R4. De igual forma la cantidad de mazorcas sanas de CC137 es más importante que los otros. Las primeras 15 semanas hay un aumento del número de mazorcas, porque se añade las de la nueva generación cada semana. Por tanto después de 15 semanas no hay variación del número de mazorcas. Hay un desplazamiento lógico de la aparición de las esporas comparada a la de los síntomas de moniliasis. Se nota que existe una sincronización de la aparición de las esporas en las parcelas con bolsa.

Por otro lado, una vez al mes, las mazorcas sanas y enfermas se quitan de las parcelas. Es por eso que vemos en estas figuras una disminución directa de la cantidad de mazorcas con esporas y sanas porque habrían sido removidas o cosechadas en el caso de las mazorcas sanas. Remueven de igual forma las mazorcas que tienen moniliasis sin que hayan aparecido las esporas. Cosechan las mazorcas sanas y entonces el número de ellas disminuye progresivamente en el tiempo hasta que sea cero.

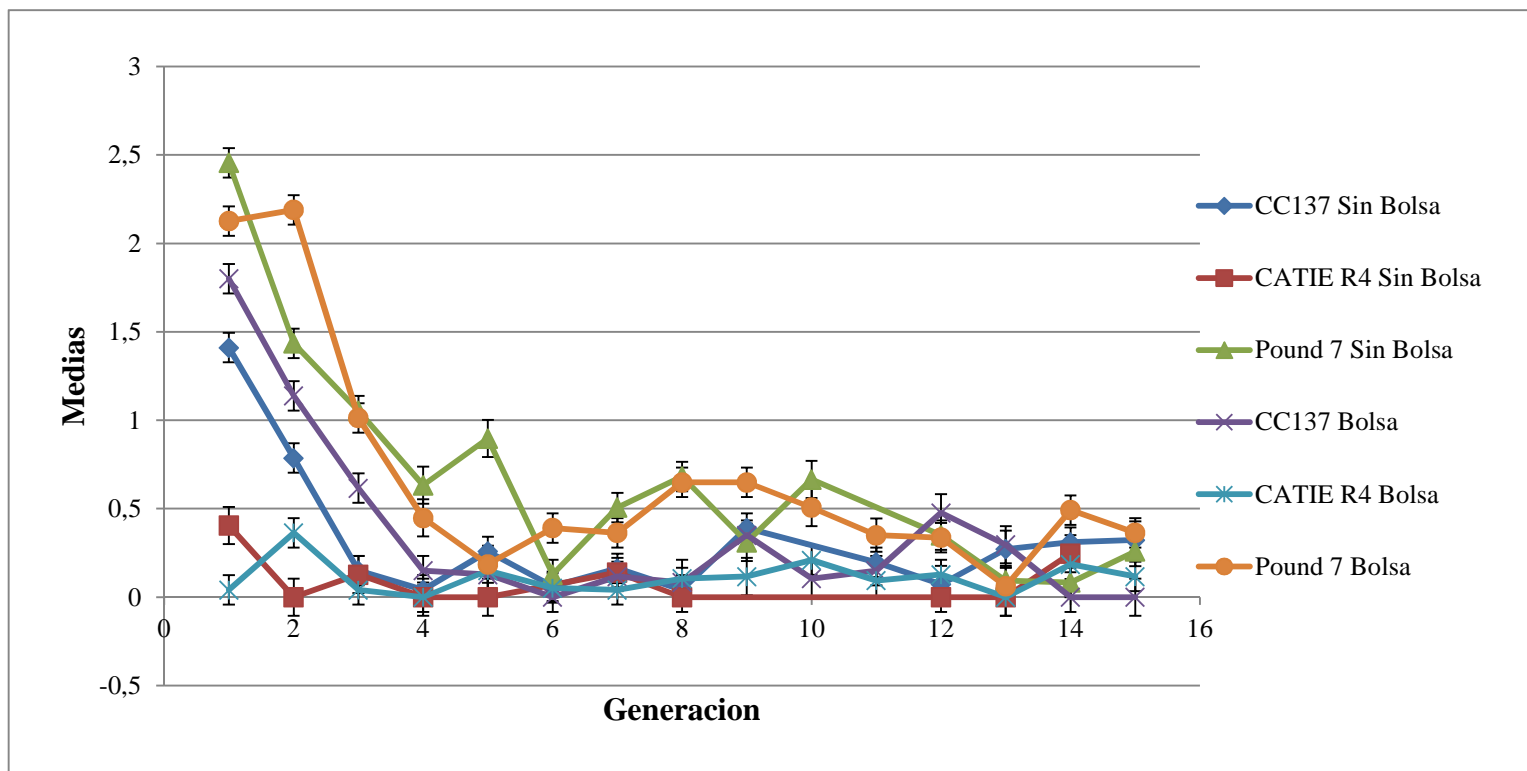
Podemos observar que el número de T-Rem-Cos-C que es el total de mazorcas menos las removidas, las cosechadas y las con chereles. Es decir el número de mazorcas sanas, con moniliasis, con esporas o con otra enfermedad correspondientes a los clones CC137 y CATIE R4 es casi igual al número de sanas. Esto significa que hay pocas mazorcas con moniliasis y pocas con otras enfermedades. Esto es totalmente diferente para el clon Pound 7, en el que se observa que hay muy pocas mazorcas con otras enfermedades como phytophthora, pero un ataque muy importante de moniliasis. Para CATIE R4 el número de mazorcas con esporas y moniliasis es casi siempre constante, hay ningunas o pocas variaciones.

Para estimar y probar los efectos de los tratamientos ( clon, bolsa y generación) y el efecto de sus interacciones sobre la tasa de crecimiento, hicimos modelos lineales generales y mixtos poniendo de variable respuesta el logaritmo neperiano de la tasa de crecimiento. Obtenemos los resultados que se muestran en el cuadro 4:

	<b>p-valor</b>
Clon	<0.0001
Bolsa	0.3228
Generación	<0.0001
Clon:Bolsa	0.6029
Clon:Generación	<0.0001
Bolsa:Generación	<0.0001
Clon_Bolsa_Generación	<0.0001

*Cuadro 4: Cuadro conteniendo los p-valor que hemos obtenido*

En la figura 21 se observa las medias ajustadas (exponencial de la media obtenida menos uno) y los errores estándares para las interacciones Clon:Bolsa:Generación :



*Figura 21: Evolución de las medias de la tasa de crecimiento aparente según las generaciones por cada tratamiento (clon- con o sin Bolsa)*

Con este análisis podemos ver claramente la importancia de los efectos de los diferentes clones y generaciones sobre el porcentaje máximo de ataque. Obtenemos un  $p$ -valor inferior a 0,0001 es decir que es muy significativo. Por otro lado vemos que embolsar o no las mazorcas no influencia el porcentaje máximo de ataque. Resultado que ya habíamos observado también en las curvas de evolución del porcentaje de ataque por generación. De igual forma la interacción Clon:Bolsa no influencia en el ataque máximo de la enfermedad porque la  $p$ -valor es de 0,6029, muy superior a 0,0001. Obtenemos que las interacciones entre Bolsa:Generación, Clon:Generación y de los tres Clon:Bolsa:Generación tienen un efecto significativo sobre el porcentaje de ataque máximo de la enfermedad ( $p$ -valor < 0,0001). Además vemos que hay una disminución de la tasa de crecimiento cuando avanzamos en las generaciones.

Luego queríamos ver si el número de frutos tenía un efecto fijo sobre el porcentaje máximo de ataque de la enfermedad. Hemos obtenido un  $p$ -valor inferior a 0,0001 así que podemos decir que el número de fruto tiene una influencia positiva sobre la tasa de crecimiento.

Con estos resultados vemos la importancia del número de frutos sobre el porcentaje máximo de ataque de la enfermedad. Cuanto mayor es la cantidad de frutos mayor es el porcentaje máximo de ataque de moniliasis.

Hicimos un modelo de covarianza de los efectos aleatorios: repetición, y obtenemos un valor de 0,28 que corresponde al desvío estándar relativo al residual y a las correlaciones traduciendo una correlación a simetría compuesta.

## B. RELACIÓN ENTRE TASA DE CRECIMIENTO Y EL MICROCLIMA

Para estudiar la relación entre la tasa de crecimiento y el microclima, se realizó una base de datos con la tasa de crecimiento de cada generación y las variables del microclima. Utilizamos cada vez los valores de precipitación, humedad relativa, temperatura mínima, temperatura máxima y mojadura de las 6 semanas antes que apareció por primera vez síntomas de moniliasis. En esta base de datos también pusimos la edad a la que aparecieron los síntomas y el número de frutos de cada generación.

Se estudiaron los principales ejes de variabilidad (análisis de componentes principales, PCA) en esta base de datos. En la PCA, la posición de cada variable se calcula a partir de las medias para permitir agrupar los datos. En cada eje de la PCA se indica variables correlacionadas positivamente o negativamente, y ejes ortogonales representan variables de poca o ninguna correlación.

En las figuras 22, 23 y 24 se observan los análisis de las componentes principales. Las más interesantes que obtuvimos se muestran en las figuras que siguen:

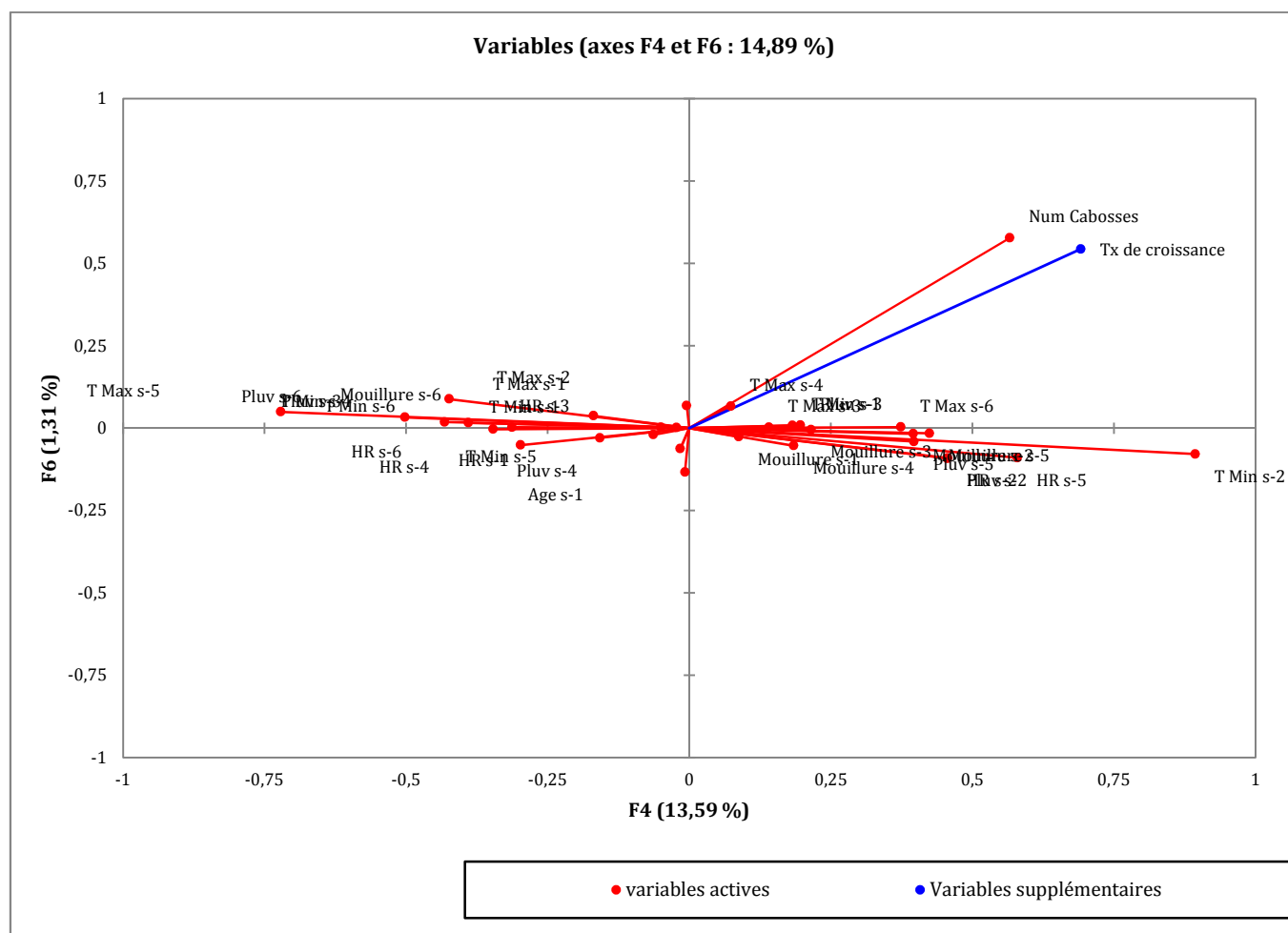


Figura 22: Grafico obtenido con la análisis de los componentes principales del tratamiento Pound 7 con Bolsa



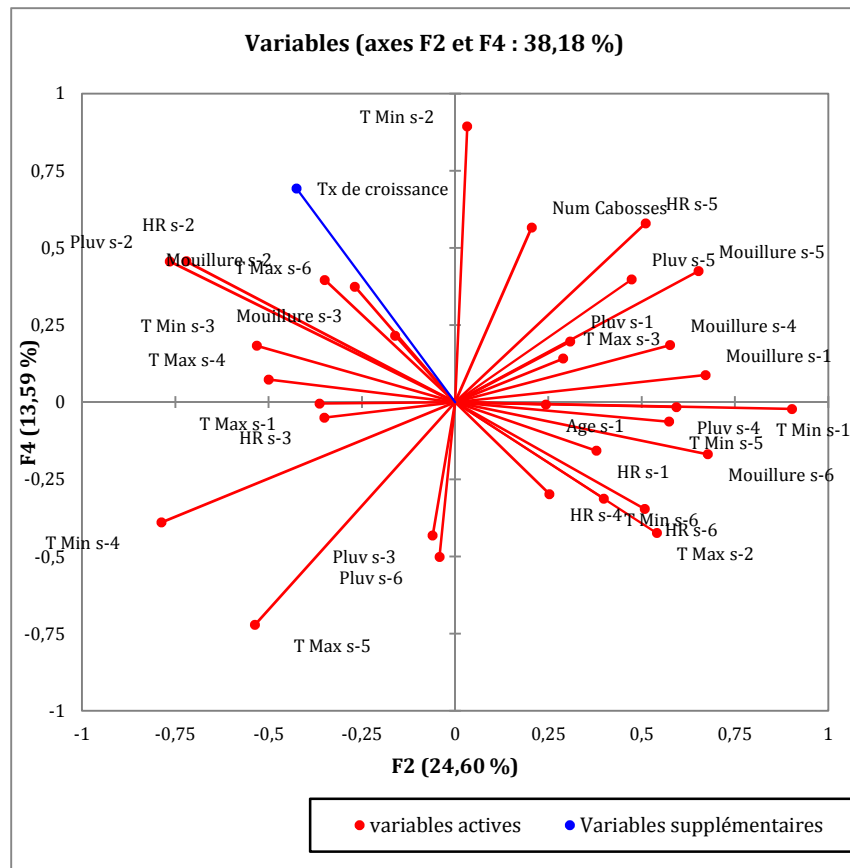
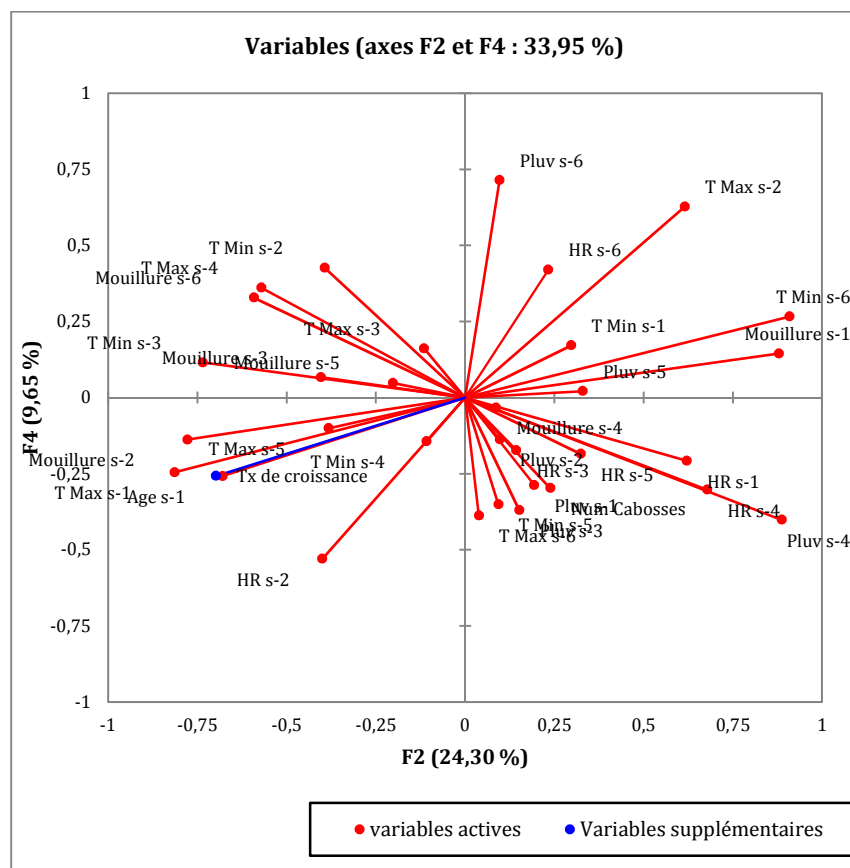


Figura 23: Grafico obtenido con la análisis de los componentes principales del tratamiento Pound 7 sin Bolsa



*Figura 24: Grafico obtenido con la análisis de los componentes principales del tratamiento CC137 con Bolsa*

En el primer análisis de componentes principales de Pound 7 con Bolsa los ejes explican 14,89% de la variabilidad. Vemos claramente la relación entre el número de mazorcas y la tasa de crecimiento. Observamos una relación positiva: cuanto mayor es la cantidad de mazorcas mayor es la tasa de crecimiento. De igual forma hay una relación entre la tasa de crecimiento y la temperatura mínima de dos semanas antes de la aparición de los síntomas. Al contrario se observa una correlación negativa entre la tasa de crecimiento y las precipitaciones 6 semanas antes de la aparición de los síntomas. Hemos observado una independencia clara entre la tasa de crecimiento de moniliasis y la temperatura de cuatro semanas antes, la temperatura máxima de cinco semanas antes, la humedad relativa de cinco semanas antes y la mojadura de cinco semanas antes. Podemos ver en esta análisis de componentes principales que la tasa de crecimiento aparece en la zona de temperatura mínima dos semanas antes de la aparición de la enfermedad fuerte y la temperatura mínima de una semana antes de la aparición de los síntomas baja. Hay entonces una relación fuerte entre la tasa de crecimiento y una amplitud de temperatura baja dos semanas antes de la aparición de los síntomas de moniliasis.

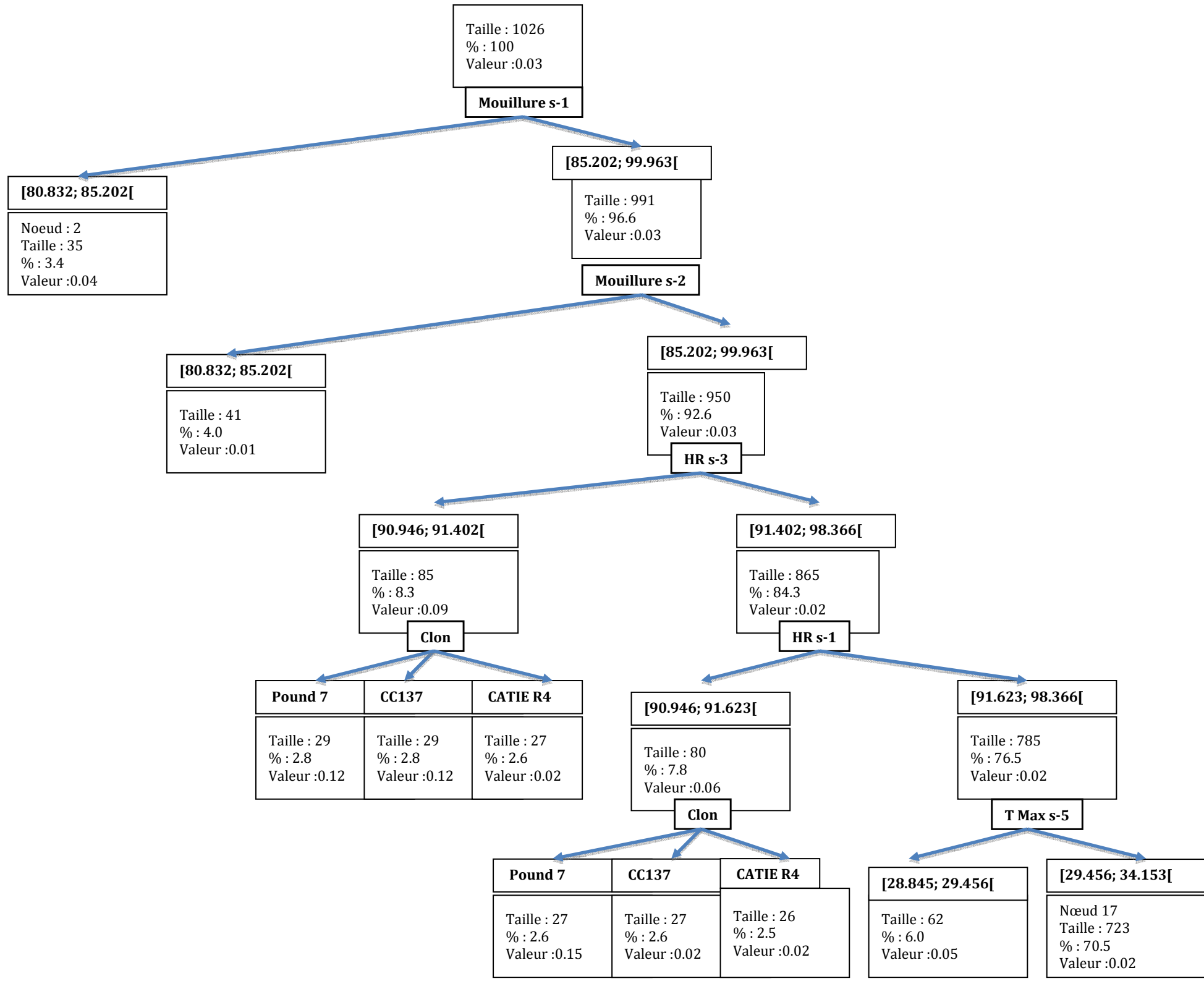
En la análisis de componentes principales de Pound 7 sin Bolsa los ejes explican 38,18% de la variabilidad. Observamos que varias variables micro climáticas tienen una relación positiva con la tasa de crecimiento como: mojadura s-2, humedad relativa s-2, temperatura mínima s-2 y otras tienen una relación negativa como Temperatura máxima s-2, mojadura s-6, humedad relativa s-6. En este análisis sobresalen las variables micro climáticas de dos semanas antes de la aparición de los síntomas y las de seis semanas antes.

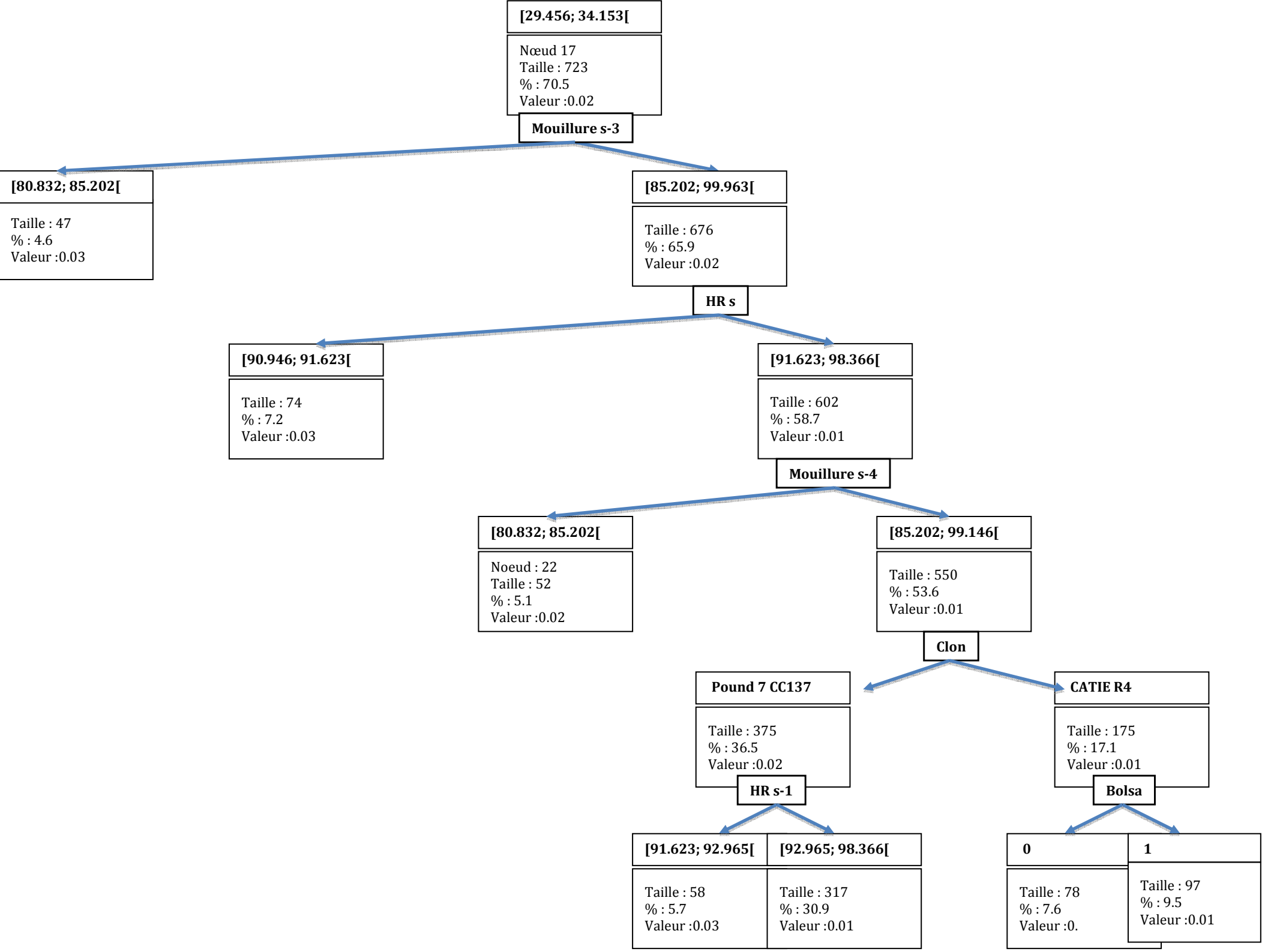
En el último análisis de componentes principales de CC137 con Bolsa, los ejes explican 33,95% de la variabilidad. De igual forma podemos ver una relación fuerte entre las variables micro climáticas de dos semanas antes de la aparición de los síntomas y la tasa de crecimiento. En esta se observa también una relación positiva con la tasa de crecimiento y la edad de las mazorcas cuando aparecen los síntomas.

Hemos hecho de las mismas maneras análisis de componentes principales con los otros tratamientos: CATIE R4 con bolsa, CATIE R4 sin bolsa, CC137 sin bolsa pero no hemos obtenidos resultados interesantes ya que la tasa de crecimiento de la enfermedad no era bien representada. Además no se podía calcular tasas de crecimiento para el clon CATIE R4 porque hay pocas mazorcas enfermas.

Para completar estos análisis tratamos de ver la relación entre la tasa de crecimiento pero esta vez entre cada semana de evaluación y el microclima. Y así regeneramos árboles de regresión usando todas las variables disponibles para explicar la tasa de crecimiento.

En la figura 25 que sigue se observa el árbol de regresión explicando la tasa de crecimiento de la enfermedad por semana, en función de variables ambientales, fenológicas y de producción:





La mojadura de la semana anterior a la de la aparición de los primeros síntomas de moniliasis fue la variable más importante que explica la tasa de crecimiento. Así observamos que cuando la mojadura s-1 es inferior a 85 la tasa de crecimiento es superior. Pero hay un 96,6% de las variables que están en el grupo de mojadura superior al 85 de mojadura s-1, con una incidencia menor. El segundo factor más importante es la mojadura s-2: este nudo se divide en otros dos nudos: uno de ellos con mayor incidencia cuando la mojadura s-2 es superior a 85. Este nudo se divide en dos otros con la humedad relativa s-3 una mayoría cuando es superior a 91 con menor incidencia y la otra inferior a 91 con mayor incidencia. El nudo con la humedad relativa inferior a 91 se divide en tres nudos por los clones. Observamos que la tasa de crecimiento es más baja para el clon CATIE R4 lo que coincide con los resultados que hemos tenido anteriormente. El Nudo de humedad relativa superior a 91 se divide en dos otros nudos por la humedad relativa s-1. Obtenemos los mismos resultados, una división cuando es superior a 91 hay una menor incidencia que cuando es inferior, y de igual forma cuando es inferior se divide en tres nudos, uno para cada clon. En estos nudos se observa que la mayor incidencia es para el clon Pound 7, resultado que coincide igualmente con los resultados que hemos tenido. El nudo de humedad relativa s-1 superior a 91 se divide en dos nudos por la temperatura máxima s-5 con una mayor incidencia cuando esta temperatura máxima esta inferior a 29 grados. El grupo de temperatura máximo superior a 29 grados se divide en dos otros nudo por la humedad relativa de la semana de aparición de los síntomas de monilia con una mayor incidencia cuando esta humedad relativa es inferior a 91. Cuando esta humedad relativa es superior a 91 el criterio de separación que sigue es la mojadura s-4 con mayor incidencia cuando es inferior a 85. Después observamos otra vez una separación por los clones dejando los de CATIE R4 con menor incidencia. El nudo de CATIE R4 se divide por fin en dos nudos dejando aparecer por primera vez la variable bolsa y sin bolsa mostrando que los con bolsa tienen una mayor incidencia. La variable que divide el nudo de los dos clones Pound 7 y CC137 es otra vez la humedad relativa s-1 y una mayor incidencia cuando es inferior a 92.

Así podemos ver que la humedad relativa es una variable que influye mucho sobre la tasa de crecimiento y con una mayor incidencia cuando es inferior a 91. De igual forma, la mojadura (particularmente las de una semana y dos semanas antes de la aparición de los síntomas de moniliasis) repercute de forma importante sobre la tasa de crecimiento de la enfermedad.

## IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

### A. DISCUSIÓN GLOBAL

Los resultados principales que hemos obtenido es primero la evidencia de las diferencias de resistencia de los clones: hemos observado que el porcentaje de ataque del clon Pound 7 es claramente superior a los de CATIE R4 y CC137. El porcentaje de ataque del clon CATIE R4 nunca supera los 15%. De otro lado hemos visto que no hay muchas diferencias entre los tratamientos bolsa y sin bolsa. Hemos observado un comportamiento simultaneo de las generaciones: una evolución de la aparición de los síntomas en paralelo para algunas generaciones lo que implica fenómenos particulares que hacen que las mazorcas reaccionan de formas similares. Si las mazorcas no reaccionan de la misma forma seria que crecieron según la influencia fenómenos diferentes.

En las curvas de evolución del porcentaje del ataque según la edad de las mazorcas, hemos visto que hay un porcentaje muy alto cuando las mazorcas ya tienen 9 semanas de evaluación. Quizás sería que las mazorcas son mas sensibles a esta edad o que la aparición de los síntomas es mas visible a esta edad. Puede ser que el pico de 9 semanas de observación puede ser vinculado con el periodo de incubación largo de esta enfermedad según la literatura es de 2-3 meses. Sería una relación que afectaría la infección y la colonización de la mazorca y que los síntomas no aparezcan al mismo momento.

El los gráficos mostrando la evolución de del numero de mazorcas con moniliasis, esporas... hemos observado una sincronización de la esporulación en las parcelas que tenían bolsa. Hay un desplazamiento lógico de pocas semanas entre la aparición de los síntomas de moniliasis y la aparición de las esporas.

De igual forma, en la análisis general, hemos visto una correlación e interacción fuerte entre los tres factores: bolsa, generación y clon pero también clon y generación pero una mala interacción entre el tratamiento bolsa, sin bolsa y los clones.

En los arboles de regresión vemos una aparición tardía de los clones es decir que el efecto del microclima es mas importante que el efecto de los clones. La mojadura y la humedad relativa parecen ser las dos variables del microclima que tienen una mayor influencia sobre la tasa de crecimiento de la enfermedad. Podemos pensar que el microclima no influencia la aparición de los síntomas pero en la infección de las mazorcas por el hongo.

Hemos hecho el postulado al principio que la moniliasis es una enfermedad mono cíclica, pero hemos obtenido resultados que nos sugieren tres hipótesis. La primera sería que existe solamente una fase de infección y que la aparición de los síntomas se extiende a los largo del tiempo. Sería entonces una enfermedad a interés simple. En el árbol de regresión hemos visto que es mas en relación con la aparición de los síntomas y no con una epidemia hay una infección y poco a poco aparecen los síntomas. La información es mas relacionada con una infección pero el árbol de regresión mas a la aparición de los síntomas. En las curvas de evolución del porcentaje de ataque de moniliasis según la semana de evaluación de los frutos obtenidas, podemos pensar que hay una aparición desplazada y una distribución en el tiempo de la aparición de los síntomas.

La segunda hipótesis sería que la enfermedad es poli cíclica, y que hay entonces varias fases de infección a edades diferentes de mazorcas. Es decir que hay un cierto tiempo, el tiempo de incubación, y después la aparición de los síntomas. Sería entonces que el tiempo de incubación no cambia según la edad de las mazorcas y que siempre es de 2-3 meses. Haría entonces una aumentación de la sensibilidad de las mazorcas hasta una edad y después cada vez mas resistente que la edad aumenta. Pero esta hipótesis no corresponde a lo que podemos encontrar en la literatura: una decadencia de la resistencia implica una sensibilidad muy alta al principio.

La tercera y ultima hipótesis sería que es un desarrollo de una epidemia es decir que hay una pequeña infección contamina las otras mazorcas. Pero si estuviera una epidemia cuando una mazorca joven esta infectada, una mazorca vieja debe ser afectada de la misma forma. Además hemos visto que el inoculo que aportan las generaciones anteriores es muy importante.

Al final podemos decir que hay una extensión en el tiempo de la aparición de los síntomas, que la moniliasis es una enfermedad mono cíclica porque por una generación sería muy difícil que hubiera mas de un ciclo de contaminación. Además hemos visto que la tasa

de crecimiento se explica por variables micro climáticas como la mojadura, la humedad relativa o la temperatura, factores que afectan la expresión de los síntomas.

## B. NUEVAS ORIENTACIONES

Hemos estudiado por falta de tiempo, solamente 15 generaciones de mazorcas. Seria bien estudiar de la misma forma los efectos de los tratamientos clones, bolsa- sin bolsa y la generaciones con mas datos ya que tenemos mas de 35 generaciones. De igual forma, ver el efecto de las variables micro climáticas sobre el ataque de moniliasis.

Las análisis se podrían realizar sobre el porcentaje de esporulación estudiando así las condiciones que favorezcan la esporulación y se podría hacer con variables micro climáticas hasta 8 semanas antes de la aparición de los síntomas que sean de moniliasis o moniliasis con esporas.

Seria interesante trabajar sobre los porcentajes de mazorcas en relación con la renovación de la enfermedad a cada fecha, la variable predictor seria el numero de mazorcas sanas que quedan.

Seria útil hacer análisis de componentes principales considerando las tasas de crecimientos que existe entre mazorcas de una misma semana (edad) en todas las condiciones. Así se podría mostrar mas claramente que las mazorcas de edad diferentes no son sensibles de la misma forma. No pudimos comparar la tasa de crecimiento de la enfermedad de mazorcas de la misma edad por falta de datos.

Este trabajo establece las bases de un modelo de advertencia agrícola para dar mejores consejos a los productores en la gestión del riesgo de la enfermedad. Este es un paso importante para entender mejor las relaciones cuantitativas entre la intensidad de la enfermedad y variables climáticas.

## BIBLIOGRAFÍA

- A.M. Arciniegas Leal. 2005. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma Cacao L.*) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE
- Avelino J., M.E. Bouvret , L. Salazar , C. Cilas. 2009. Relationships between agro-ecological factors and population densities of *Meloidogyne exigua* and *Pratylenchus coffeae* sensu lato in coffee roots, in Costa Rica. *Applied Soil Ecology* 43 :95–105
- J. Avelino, H. Zelaya, A. Merlo, A. Pineda, M. Ordoñez, S. Savary. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *ecological modelling* 197 :431–447
- Castro, O. E. 1989. Dinámica de la población de conidios e incidencia de moniliasis a diferentes alturas a partir del suelo de un cacaotal de Matina, Limón. 1988. Tesis Lic. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 65 p.
- Enríquez, G. A. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Turrialba, Costa Rica. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 240 p.
- Evans, H. C. 1981. Pod rot of cacao caused by *Monliophthora* (*Monilia*) *roreri*. Commonwealth Mycological Institute. *Phytopathological Papers* 24 (44).
- Evans, H. C. 2008. Cacao diseases – The trilogy revisited. *Phytopathology* 97 :1640-1643
- Evans, H. C. 1986. A reassessment of *Moniliophthora* (*Monilia*) pod rot of cacao. *Cocoa Growers' Bulletin*. 37: 34-43.
- Fallas, A. 1983. Estudio sobre la epifitología de la moniliasis del cacao (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) Evans en dos zonas productoras de Costa Rica. Tesis Bach. San Carlos, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 78 p.
- Guyot, Condina, Doaré , Cilas, Sache. 2010. Segmentation applied to weather-disease relationships in South American leaf blight of the rubber tree *Eur J Plant Pathol* 126:349–362
- International Cocoa Organization (ICCO). 2009. Annual report. Londres. 36 p.
- Kushalappa, A. C., and Ludwig, A. 1982. Calculation of apparent infection rate in plants diseases : development of a method to correct for host growth. *Phytopathology* 72 :1373-1377.
- Leach A.W., J.D. Mumford, U. Krauss. 2002. Modelling *Moniliophthora roreri* in Costa Rica. *Crop Protection* 21 :317–326
- M. E. Leandro Muñoz. 2011. Efecto de los factores macro y microclimáticas y las características productivas del cacao sobre la epidemiología de la moniliasis. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE



- D.F. López-Bravo, E. de M. Virginio-Filho, J. Avelino. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions *Crop Protection* 38 :21-29
- Ndoubè-Nkeng, M.I.B. Efombagn, S. Nyassé, E. Nyemb, I. Sache and C. Cilas . 2009. Relationships between cocoa *Phytophthora* pod rot disease and climatic variables in Cameroun. *Can. J. Plant Pathol.* 31 :309-320
- Phillips-Mora, W. 1986. Evaluación de la resistencia de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) a *Moniliophthora roreri* (Cif. y Par.) Evans et al. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. p. 12
- Phillips-Mora, W. Coutiño, A. Ortiz, C. López, A. Hernández, J. Aime, M. 2006. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in Mexico. *Plant Pathology.* 55 (4): 584.
- Phillips-Mora, W., and Wilkinson, M. J. 2007. Frosty po of cacao : A disease with a limited geographic range but unlimited potential of damage. *Phytopathology* 97 :1644-1647
- Ploetz, R. C. 2007. Cacao diseases : Important threats to chocolate production worldwide. *Phytopathology* 97 :1634-1639.
- Rosso, P. H., and Hansen, E. M. 2003. Predicting Swiss needle cast disease distribution and severity in young Douglas-fir plantations in coastal Oregon. *Phytopathology* 93:790-798.
- Soberanis, R. RmH os, E. Arevalo, L. Zuñiga, O. Cabezas, U. Krauss. 1999. Increased frequency of phytosanitary pod removal in cacao (*Theobroma cacao*) increases yield economically in eastern Peru. *Crop Protection* 18 :677-685
- Suárez, C. 1971. Estudio del mecanismo de penetración y del proceso de infección de *Monilia roreri* Cif. Par. en frutos de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis Ing. Agr. Guayaquil, Ecuador. Universidad de Guayaquil. 59 p.